



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

POROVNÁNÍ HODNOCENÍ STAVU MOSTŮ V SRN A ČR

COMPARISON OF ASSESSMENT OF THE STATE OF BRIDGES IN GERMANY AND THE
CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Víša

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ondřej Víša
Název	Porovnání hodnocení stavu mostů v SRN a ČR
Vedoucí práce	Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV. VUT v Brně, 2010.
Kukaň, V., Šafář, R., Hrdoušek, V.: Betonové mosty 10, ČVUT Praha, 2004
Stráský, J., Klusáček, L., Panáček, J., Nečas, R., Zich, M.: Betonové mosty I. Modul CB1 až CB3 (studijní opora v elektronické podobě), VUT, Brno, 2006.
Podklady poskytnuté Hochschule Wismar, oddělením stavebních materiálů.
Podklady poskytnuté firmou Mostní vývoj, s.r.o.
ČSN 73 6220, ČSN 736221 a další platné normy ČSN, EN.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Teoretická část:

Rešerše literatury, podkladů a platných norem týkajících se hodnocení mostů.
Porovnání mostního názvosloví, způsobu evidence mostů, a prohlídek mostů pozemních komunikací ve Spolkové republice Německo a v České republice.
Porovnání postupů pro diagnostické a laboratorní zkušební metody.

Praktická část:

Prohlídka vybraného mostního objektu v SRN a adekvátního mostu v ČR, dokumentace poruch.
Zpracování výsledků průzkumu objektu na základě podkladů poskytnutých vysokou školou Hochschule Wismar a firmou Mostní vývoj, s.r.o.
Grafické a tabelární zpracování výsledků zkoušek.
Porovnání způsobu provádění mostních prohlídek a diagnostiky v obou zemích.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Petr Cikrle, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Se stále rostoucím věkem, množstvím a zvyšujícími nároky na kvalitu mostních konstrukcí je úloha hodnocení jejich stavu jak v České republice, tak v Německu stále důležitější. Tato bakalářská práce porovnává ve své teoretické části obecný stav mostních konstrukcí v obou zemích dále srovnává normy, názvosloví, způsob evidence a hodnocení. Praktická část je vyhrazena pro průzkum a hodnocení mostního objektu v Německu a pro účely porovnání také v České republice. V závěru pak práce shrnuje nejzásadnější rozdíly.

KLÍČOVÁ SLOVA

most, mostní objekt, porovnání, hodnocení, diagnostika, mosty v SRN, mosty v ČR, Německo, Česká republika, jádrové vývrty, poruchy mostů, zkoušení, metoda, prohlídka, vyhodnocení, vzorek, zkušební těleso, předpjatý beton

ABSTRACT

With the increasing age, amount and demands on the quality of bridges, the role of assessing their condition is increasingly important both in the Czech Republic and in Germany. This bachelor thesis compares the general state of bridges in both countries in its theoretical part; furthermore it compares the standards, terminology, the way of keeping record and evaluation. The practical part is reserved for survey and assessment of a bridge in Germany and for comparison purposes also in the Czech Republic. In its end the thesis summarizes the most fundamental differences between Czech and German methods.

KEYWORDS

bridge, comparison, assessment, diagnostics, bridges in Germany, bridges in Czech Republic, Germany, Czech Republic, core sample, testing, method, inspection, evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Ondřej Víša *Porovnání hodnocení stavu mostů v SRN a ČR*. Brno, 2017. 88 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2017

Ondřej Víša
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D., za jeho nadšení pro věc a také za jeho cenné rady v průběhu vypracovávání bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat profesoru Ulrichu Diederichsi, za vřelé přijetí v Německu a možnost podílet se pod jeho vedením na řadě diagnostických zakázek v rámci stáže Erasmus.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za celoživotní podporu.

OBSAH

1	ÚVOD	10
1.1	Cíle práce	10
1.2	Úvod do problematiky v SRN	11
1.2.1	Vývoj mostů z předpjatého betonu	13
1.2.2	Strategie pro modernizaci.....	14
1.3	Úvod do problematiky v ČR	16
2	POROVNÁNÍ PŘEDPISŮ, EVIDENCE A DIAGNOSTICKÝCH METOD V ČR A SRN.....	18
2.1	Předpisy v SRN	18
2.2	Předpisy v ČR.....	19
2.3	Mostní názvosloví dle DIN a ČSN	19
2.4	Druhy prohlídek dle DIN 1072.....	21
2.4.1	Monitorování konstrukcí.....	23
2.4.2	Průběh prohlídky.....	23
2.5	Druhy prohlídek dle ČSN 73 6221	24
2.6	Evidence mostních konstrukcí.....	26
2.6.1	Evidence mostů v SRN	26
2.6.2	Evidence mostů v ČR.....	26
2.7	Systém hodnocení stavu mostu	27
2.7.1	Hodnocení v SRN.....	27
2.7.2	Hodnocení v ČR	29
2.8	Porovnání diagnostických a laboratorních metod	29
3	PROHLÍDKA A DIAGNOSTIKA MOSTNÍHO OBJEKTU.....	31
3.1	Úvod	31
3.2	Prohlídka a hodnocení objektu v ČR.....	32
3.2.1	Identifikace objektu.....	32

3.2.2	Základní údaje.....	33
3.2.3	Lokální prohlídka	34
3.3	Prohlídka a diagnostika objektu v SRN.....	39
3.3.1	Identifikace objektu.....	39
3.3.2	Základní údaje.....	40
3.3.3	Lokální prohlídka konstrukce	42
3.4	Extrakce vývrtů	46
3.4.1	Vývrty z povrchu vozovky.....	54
3.4.2	Vývrty z nosné konstrukce	56
3.4.3	Krycí vrstva betonu a stav výztuže.....	59
3.5	Zkoušky jádrových vývrtů	60
3.5.1	Stanovení statického modulu pružnosti	60
3.5.2	Pevnost v tlaku a objemová hmotnost.....	61
3.5.3	Hloubka karbonatace	63
3.5.4	Pevnost v tahu ohybem.....	64
3.5.5	Pevnost v příčném tahu	65
3.5.6	Pevnost v prostém tahu	67
3.5.7	Termická analýza.....	69
3.6	Shrnutí výsledků dosažených v praktické části	71
4	ZÁVĚR	74
	Citovaná literatura.....	75
	Seznam obrázků	78
	Seznam tabulek.....	80

1 ÚVOD

Se stále rostoucím věkem, množstvím a zvyšujícími nároky na kvalitu mostních konstrukcí je úloha hodnocení jejich stavu jak v České republice, tak v Německu stále důležitější.

Českou dopravní síť tvoří dálnice a silnice I., II. a III. třídy. Dohromady pak všechny třídy tvoří síť o délce více než 55 757 km na níž je celkem 17 597 mostních konstrukcí (stav k 1. 1. 2017). Co se týče německé silniční sítě, existují zde také 4 kategorie komunikací. „Autobahn“ odpovídá našim dálnicím a tvoří síť o délce bezmála 13 000 km. Dále jsou zde „Bundesstrasse“ – silnice I. třídy, „Landesstrasse“ – silnice II. třídy a „Kreisstrasse“ – silnice III. třídy. Celkově silniční a dálniční síť dosahuje na území SRN délky celkem 230 082 km (stav k 1. 1. 2016). [1] [2]

Tato práce ve své teoretické části seznámí čtenáře s aktuální situací týkající se mostních konstrukcí a jejich hodnocení v Německu a dále porovná případné rozdíly s českou metodikou. Předpokládá se, že čtenář má povědomí o situaci mostních konstrukcí a jejich hodnocení v České republice, a proto ji detailně nerozvádí, pouze porovnává nejpodstatnější informace. V praktické části bude čtenář seznámen prohlídkou a hodnocením mostního objektu v Německu a z důvodu porovnání také s prohlídkou objektu v České republice. V závěru se práce pokusí porovnat také postupy a diagnostické metody v obou zemích.

1.1 CÍLE PRÁCE

Cíle práce vycházejí ze zadání bakalářské práce. Jak již bylo nastíněno v úvodu, práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

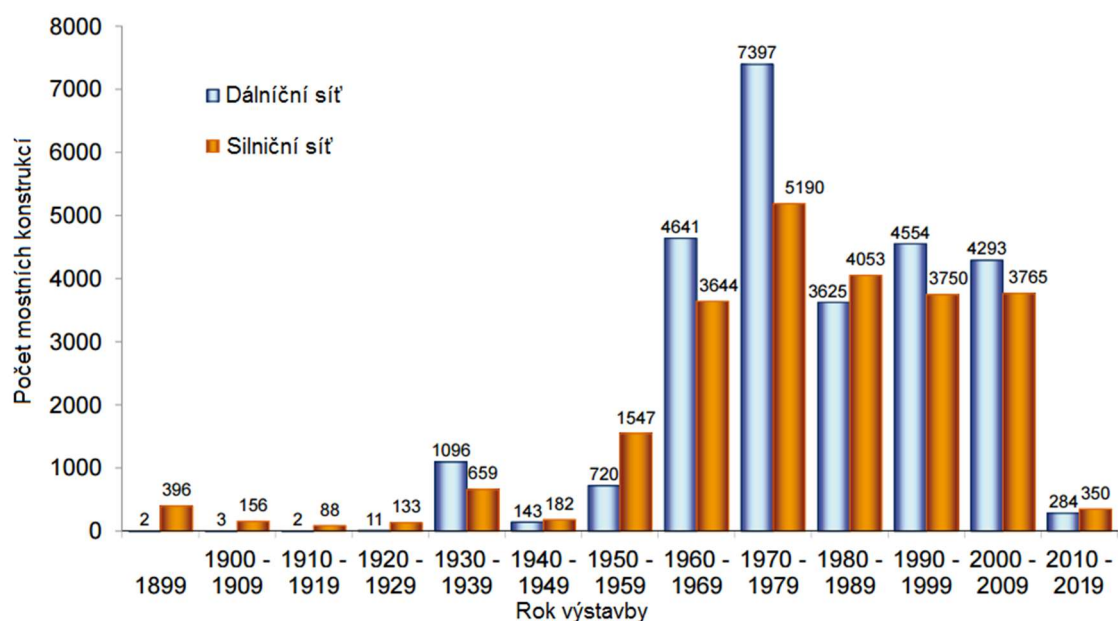
Podstatou teoretické části bude rešerše literatury, podkladů a norem týkajících se hodnocení mostů. Porovnání názvosloví, způsobu evidence mostů a prohlídek mostů pozemních komunikací ve Spolkové republice Německo a v České republice. V neposlední řadě také porovnání postupů pro diagnostické a laboratorní diagnostické metody.

Podstatou praktické části bude prohlídka vybraného mostního objektu v SRN a adekvátního mostu v ČR včetně dokumentace poruch. Zpracování výsledků průzkumu objektu na základě podkladů poskytnutých Hochschule Wismar a firmou Mostní vývoj s.r.o. Dále grafické a tabelární zpracování výsledků zkoušek a závěrečné porovnání způsobu provádění mostních prohlídek a diagnostiky v obou zemích.

1.2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY V SRN

V současné době je na německých silnicích 1. třídy (Bundesstrasse) a dálnicích (Autobahn) přibližně 39 500 mostů a viaduktů (stav k 1. 9. 2016) o celkové délce více než 2 125 km. To pro představu přibližně odpovídá trase Berlín-Moskva. Na silnicích všech tříd je však více než 51 000 mostních konstrukcí. Hodnota všech mostů je odhadnuta na více než 60 miliard euro. Většina těchto konstrukcí (přibližně 87,2%) jsou z předpjatého betonu nebo železobetonu.

Většina mostů silniční sítě ve spolkových zemích bývalého Západního Německa dosahuje stáří mezi 40 a 60 roky. Tyto mosty byly postaveny v době po druhé světové válce, kdy rostoucí německá ekonomika požadovala moderní a efektivní dopravní síť, a tak silně podporovala výstavbu silnic a dálnic. Naproti tomu ve spolkových zemích bývalého Východního Německa byla výstavba mostů ve velkém měřítku realizována až po znovusjednocení. Celkově je v tuto chvíli průměrné stáří mostů přibližně 45 let s více než 65 % konstrukcí přesahující hranici 30 let (viz obr. 1). [3]

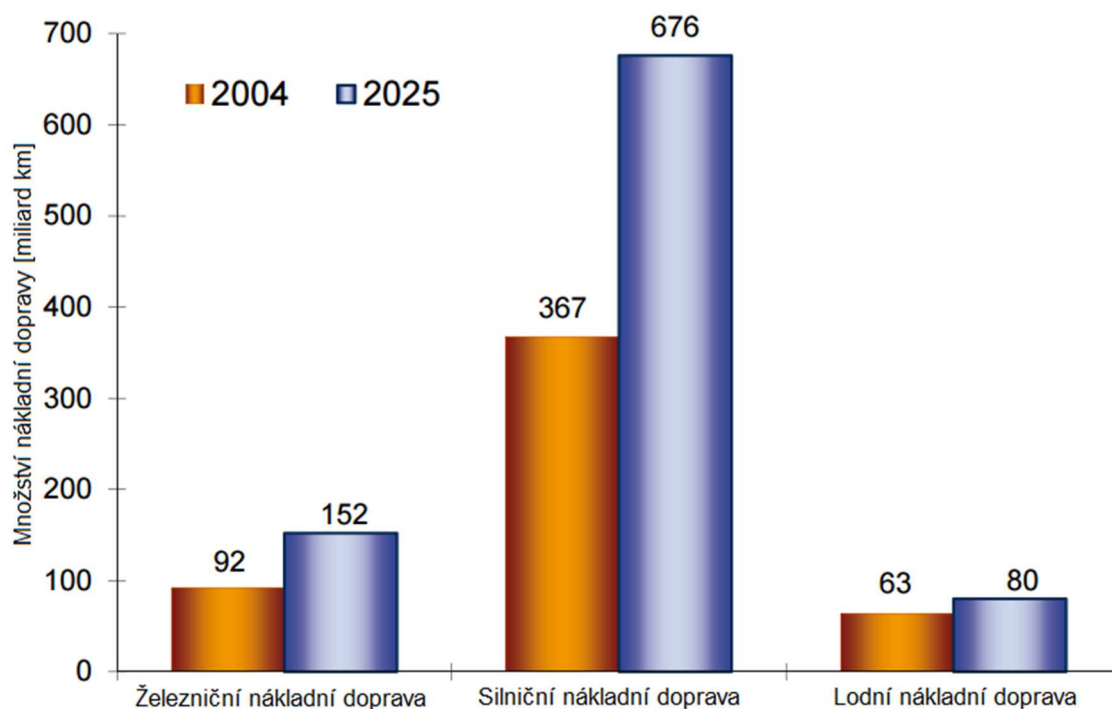


Obr. 1 Mosty německé silniční a dálniční sítě – počet mostů za určitý časový interval (stav k 2016). [37]

Momentálně je v SRN budováno hned několik důležitých mostních konstrukcí nejenom kvůli budování nových silnic, dálnic a železničních tratí, ale také kvůli potřebě nahrazení mostů, které již nesplňují současné požadavky.

Obecně se dá silniční síť v Německu charakterizovat poměrně vysokým průměrným věkem existujících mostů a rapidním zvýšením objemu provozu (zejména nákladní dopravy) za

posledních 10 let. Očekává se, že výrazný nárůst dopravy bude pokračovat až do roku 2025 (viz obr. 2).



Obr. 2 Odhad nárůstu nákladní dopravy v roce 2025 [4]

Intenzita dopravy ovšem nemá na únosnost tak zásadní vliv jako fakt, že podíl těžké nákladní dopravy za poslední roky neúměrně narostl a také to, že maximální povolená váha nákladního vozu se téměř zdvojnásobila, z 24 tun v roce 1956 na dnešních 44 tun. Zatížení na nápravu se se zvýšilo z tehdejších 7 tun na dnešních 11,5 tuny. Vážením nákladních vozů navíc ukázalo, že vozy jsou v dnešní době stále častěji nakládány na maximální tonáž nebo jsou dokonce přetíženy. [3] [5]



Obr. 3 Fotografie ilustrující nárůst dopravy od roku 1950 do současnosti [3]

S rostoucími účinky zatížení a postupným stárnutím konstrukcí roste také potřeba hospodárného využívání dostupných finančních prostředků, která vyžaduje optimalizaci řízení údržby konstrukcí. Z tohoto důvodu byl vytvořen takzvaný „BMS“ systém (systém údržby staveb), do kterého jsou vkládány informace z prohlídek. To do budoucna přinese zkvalitnění prohlídek, které mají s rostoucím věkem konstrukcí stále větší důležitost. [4]

1.2.1 VÝVOJ MOSTŮ Z PŘEDPJATÉHO BETONU

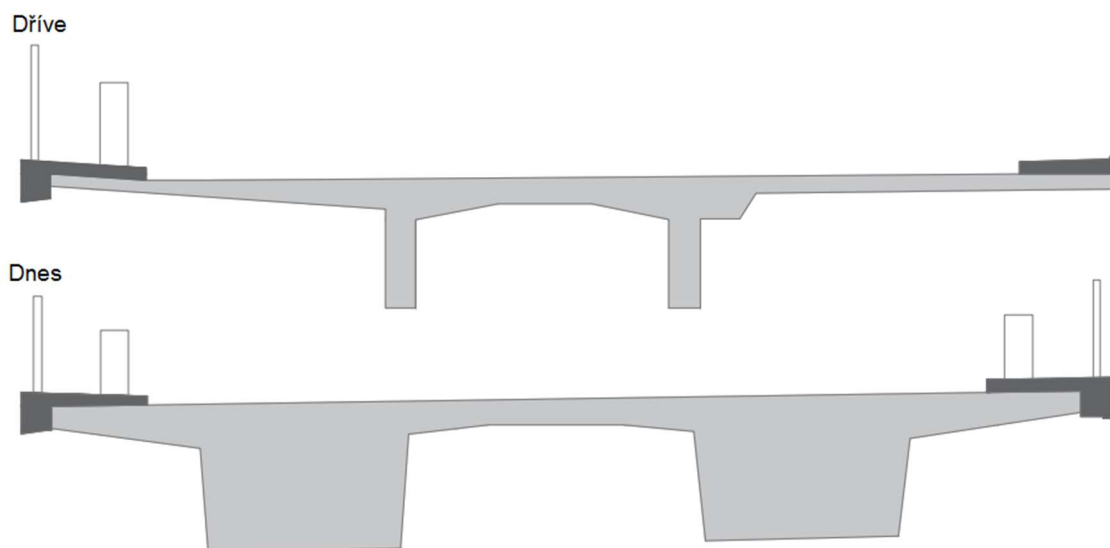
Vrcholné období výstavby mostů v bývalém Západním Německu po druhé světové válce byla značně ovlivněna technickým rozvojem technologie předpjatého betonu, který se brzy rozšířil po celém světě. Dalším milníkem v rozvoji byly nové konstrukční metody, například letmá betonáž/montáž, se kterou bylo možné stavět dlouhé mosty ekonomicky za poměrně krátkou dobu.



Obr. 4 Most v Kettiger Hang (Wittfoht 1972). Délka 1080 m byla rozdělena do 34 stejně dlouhých úseků [6]

S ohledem na tehdejší vysoké ceny materiálů a nízké náklady na pracovní sílu byla výstavba optimalizována pro mosty z předpjatého betonu, oceli a ocelových kompozitních mostů. To vedlo na jedné straně k celé řadě staveb, ale na straně druhé k velmi štíhlým dimenzím komponentů (viz obr. 5) a relativně malým procentem vyztužení.

V poměrně krátkém časovém úseku byly zaznamenány velké technické pokroky, ovšem některé později používané metody a procesy nebyly tehdy známé, což vedlo k mnoha technickým problémům, které jsou dnes typické zejména pro mosty z období 1960 až 1980. [5]



Obr. 5 Srovnání příčných řezů mostu dříve a dnes [3]

Dnes se mosty z předpjatého betonu v SRN navrhují v souladu s normami DIN Fachberichte 102–104, resp. dle Eurokódů DIN EN 1992–1994 a 1996. [7]

1.2.2 STRATEGIE PRO MODERNIZACI

Statické přepočty podle stávajících a starších mostů podle současných normových pravidel a předpisů (DIN Fachberichte a DIN EN) ukazují jednoznačné překročení návrhových limitů na mezních stavech únosnosti, použitelnosti a únavy. To je zapříčiněno tím, že nové normy jsou vyvíjeny primárně pro novostavby tak, aby s příslušnými návrhovými rezervami zabezpečila jejich požadovanou životnost.

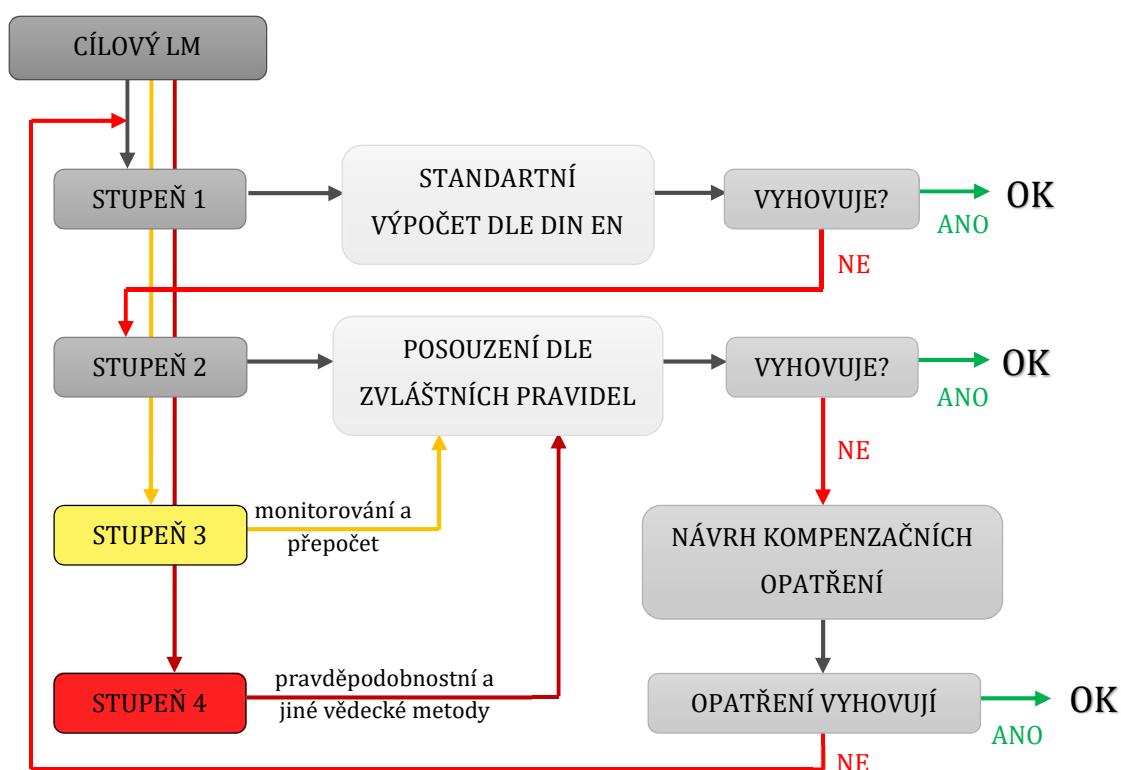
S postupem času bylo modifikováno několik návrhových přístupů pro mosty z železobetonu a předpjatého betonu za účelem zvýšení únosnosti a získání robustnějších konstrukcí. Za účelem sjednocení různých návrhových přístupů používaných v minulosti, byl zahájen systematický program pro opětovné posouzení konstrukcí tzv. „Nachrechnungsrichtlinie“ [8] (pokyn pro přepočet a hodnocení mostů). [4] [5]

Německý předpis „Nachrechnungsrichtlinie“ [8], vydaný poprvé v roce 2011 spolkovým ministerstvem dopravy, stavebnictví a urbanistiky ve spolupráci se spolkovým úřadem pro silniční dopravu (BASt), má za úkol realisticky posoudit únosnost a použitelnost stávajících silničních mostů. Pozornost má být věnována jejich aktuálnímu stavu a rostoucí dopravní intenzitě. Předpis nabízí statikům rozšířené možnosti využití rezerv nosné konstrukce a stavebních materiálů, prostřednictvím zvláštních pravidel při současném zajištění požadované třídy spolehlivosti dle DIN EN 1990.

Předpis také umožňuje navrhnout dodatečná dopravní a užitná opatření a omezení, pokud je to nutné. Například nedostatky objektu na mezní stavy použitelnosti se může negativně promítnout i do jeho únosnosti (např. vznik otevřených trhlin), proto je nutné určit dobu, po kterou bude objekt omezen v používání až do doby jeho sanace. [3] [7]

Nachrechnungsrichtlinie definuje čtyři stupně posouzení, kde je způsob výpočtu posudků a případný rozsah monitoringu modifikován v závislosti na požadavcích na bezpečnost a únosnost.

- Stupeň 1: konstrukce je přepočítána podle aktuálního znění norem (DIN Fachberichte 102 až 104, DIN EN 1992–1994)
- Stupeň 2: dovoluje modifikace ve smyslu vstupních parametrů a/nebo limitních hodnot například dílčích součinitelů
- Stupeň 3: pracuje s hodnotami získanými z měření na stavebním objektu
- Stupeň 4: k přepočtu využívá vědecké metody jako jsou například fyzikálně nelineární numerické modely nebo pravděpodobnostní přístupy



Obr. 6 Koncepce předpisu „Nachrechnungsrichtlinie“ na statické přepočty mostů v SRN [7]

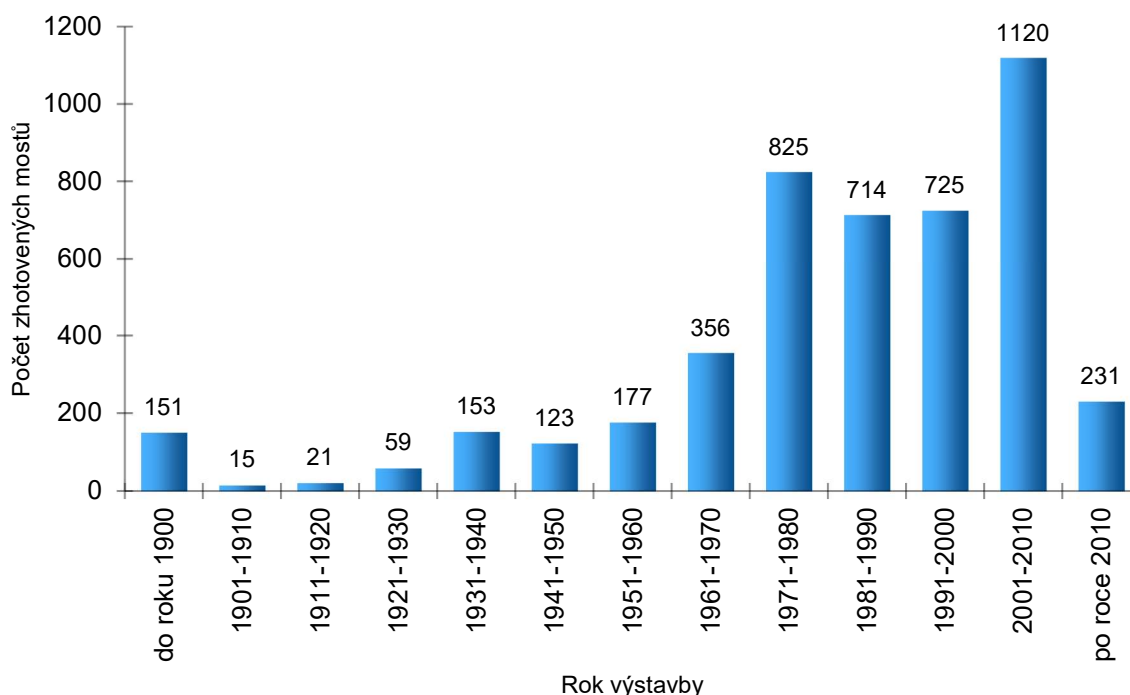
Zkušenosti získané z aplikace předpisu na více než 350 mostech dokazují, že pouze zhruba 20 % konstrukcí je schopno splnit všechny požadavky druhého stupně přepočtu (první

stupeň splnilo pouze 2,7 % mostů), kdežto více než 60 % konstrukcí vykazuje částečné nebo závažné nedostatky. Detailní informace o přepočtech mostů zveřejňuje BAST ve svých vědeckých zprávách.

Hlavní nedostatky jsou spojené zejména s podélným stříhem (56,5 % mostů) a kombinací stříhu a ohybu ve spojích (43%), chybějící smykové výztuže (29%) a únavové účinky na pracovní spáry (41%). Zejména nedostatečná smyková únosnost je přímo spojená s věkem konstrukce potažmo s tehdejšími předpisy. Téměř 90 % mostů z předpjatého betonu zbudovaných před rokem 1966 vykazuje výrazné nedostatky ve výztuži na posouvající sílu dané především chybějícím požadavkům na smykové vyztužení v tehdejší DIN 4227:1953. Mosty postavené po roce 1980 již jen zřídka vykazují nedostatky v tomto směru nebo jen v malém měřítku. [5] [7]

1.3 ÚVOD DO PROBLEMATIKY V ČR

V současné době je v České republice na silnicích 1. třídy a dálnicích přibližně 4 977 mostů o celkové délce 247 km (stav k 1. 1. 2017), což je v porovnání s Německem zhruba osmkrát méně. Z grafu na obr. 7, zpracovaného na základě statistických údajů Ředitelství silnic a dálnic je patrné, že výstavba mostů na silnicích I. třídy a na dálnicích ve větším měřítku se realizovala přibližně od roku 1970 do dnes.



Obr. 7 Počet mostů na silnicích I. třídy a dálnicích v české republice podle data výstavby (stav k 1. 1. 2017). [1]

Mosty jsou hodnoceny takzvaným klasifikačním stupněm stavu mostů, který hodnotí konstrukce číselně od I do VII, přičemž I je nejlepší a VII nejhorší stav (více o hodnocení mostních konstrukce bude uvedeno v následující kapitole).

Z hodnocení stavu mostů [1] vyplývá, že přes 50 % mostů na silniční a dálniční síti v České republice je v dobrém (III) nebo v uspokojivém stavu (IV). V minulosti zde bylo několik návrhů na systematické řešení degradace mostů, ovšem zatím nebylo vyhrazeno ve státním rozpočtu dostatek finančních prostředků na realizaci tak nákladné činnosti.

Špatný stav konstrukcí na českých silnicích a dálnicích je zapříčiněn zejména stářím staveb, ale také dynamickými účinky působící na konstrukci. Dále jsou to také nedostatky v projektové dokumentaci, nedodržení technologických postupů, špatná kvalita použitých materiálů (zejména izolačních), nedostatečná údržba, nezajištěné včasné opravy vad a zanedbaná kontrolní činnosti. Obecně lze ale říci, že stav dálničních mostů je výrazně lepší v porovnání s mosty na silniční síti.

Stav mostů v České republice tedy přímo souvisí s množstvím vládou poskytnutých finančních prostředků, které jsou vyhrazeny na jejich údržbu a opravy. [9]

2 POROVNÁNÍ PŘEDPISŮ, EVIDENCE A DIAGNOSTICKÝCH METOD V ČR A SRN

Stejně jako v České republice i v Německu existuje několik typů norem. Německé normy nesou označení DIN vycházející ze sousloví Deutsche Industrie-Norm, dnes však tato zkratka reprezentuje Deutsches Institut für Normung (Německý institut pro standardizaci), který má na starosti vydávání a aktualizaci norem. V České republice jsou normy označeny jako ČSN neboli česká technická norma a jejich tvorbu zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Použití norem je v obou zemích dobrovolné a jejich vydání je jak v tištěné, tak v elektronické formě zpoplatněné. [10]

2.1 PŘEDPISY V SRN

DIN 1076 [11]

Základem pro monitorování a prohlídky existujících mostů a dalších inženýrských staveb je norma DIN 1076. Kromě ustanovení pro provádění prohlídek a monitorování staveb tato norma také stanovuje požadavky na potřebnou dokumentaci (mostní list a stavební deník).

RI-ERH-ING [12]

Nejdůležitější pokyny pro údržbu staveb, statických posudků, informace o stavbách a jejich inspekci obsahuje RI-ERH-ING (pokyny pro údržbu inženýrských staveb). Konkrétně obsahuje:

- **RI-EBW-PRÜF [13]** – pokyny pro jednotnou evidenci, hodnocení, zaznamenávání a hlášení závěrů prohlídek dle DIN 1076. Tato směrnice tvoří základ pro standardizované záznamy a vyhodnocení strukturálních poškození. Údaje jsou následně zaznamenány do systému SIB-Bauwerke, který je podřazen systému BMS.
- **OSA [14]** – pokyn pro analýzu poškození objektů. Analýza poškození je provedena pro soubor vážných nebo nejasných poškození. Obsahuje detailní vyšetření částí nebo celé konstrukce, které přesahuje rámec běžné prohlídky. Analýza je provedena s cílem přesného vyšetření příčiny, určení rozsahu škod a volby vhodných opatření.

ASB-ING [15]

ASB-ING (instrukce pro silniční databanku a subsystém údajů o budovách), shromažďuje údaje o stavebních pracích a stavu inženýrských staveb.

RBA-BRŮ [16] , RIZ-ING [17]

Protože s budoucími prohlídkami musí být uvažováno už při plánování staveb klade požadavky na konstrukce z hlediska prohlídek předpis RBA-BRŮ (předpis pro inženýrské stavby – jejich monitorování, testování a údržba).

Předpis RIZ-ING obsahuje vzorové výkresy inženýrských staveb a specifikuje potřebné rozměry a vybavení tak, aby bylo umožněno provést monitorování nebo prohlídku snadno a jednoduše.

2.2 PŘEDPISY V ČR

ČSN 73 6221 [18]

Norma ČSN 73 6221 – prohlídky mostů pozemních komunikací je základním dokumentem pro provádění prohlídek v ČR. Norma definuje druhy prohlídek jejich rozsah a četnost. Dále stanovuje klasifikační stupně stavu mostu (rozmezí I – VII), požadavky pro výkon a záznam prohlídek.

TECHNICKÉ PODMÍNKY MINISTERSTVA DOPRAVY (TP)

Technické podmínky Ministerstva dopravy (zkratka TP) jsou oborové předpisy týkající se oblasti pozemních komunikací. Technické podmínky jsou zpracovány na základě nejnovějších poznatků ve vědě, technice a snaze o optimalizaci řešení problémů při stavbě a údržbě pozemních komunikací a jsou vydávány Ministerstvem dopravy České republiky.

Pro betonové mosty jsou to například TP 144 – Doporučení pro navrhování, posuzování a sledování betonových mostů pozemních komunikací nebo TP 120 – údržba, opravy a rekonstrukce betonových mostů pozemních komunikací a mnoho dalších.

2.3 MOSTNÍ NÁZVOSLOVÍ DLE DIN A ČSN

***Most* dle DIN 1072 [11]**

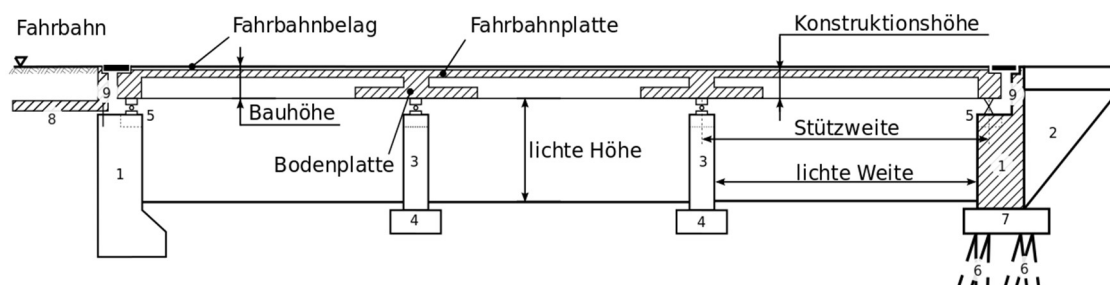
„Mosty převádějí dopravní trasu nad jinou dopravní trasou, přes vodní útvar či hlubší terén, pokud je vzdálenost měřená kolmo mezi jejich opěrami rovna 2,0 m nebo více.“

Mostní objekt dle ČSN 73 6200 [19]

„Nedílná součást dopravní cesty (pozemní komunikace, dráhy nebo vodní cesty) v místě, v němž je třeba překonat přírodní nebo umělou překážku přemostěním, popř. zvolit obdobné řešení z vodohospodářských, ekonomických, ekologických nebo estetických důvodů; může také sloužit ke stavebně montážním účelům; pojem mostní objekt zahrnuje – mosty, propustky, lávky.“

Most dle ČSN 73 6200 [19]

„Mostní objekt, popř. jeho funkční celek (část), s kolmou světlostí alespoň jednoho mostního otvoru více než 2,0 m. Most je obvykle tvořen – spodní stavbou, nosnou konstrukcí, svrškem, vybavením, přidruženými částmi, popř. přesypávkou.“



Obr. 8 Základní pojmy silničního betonového mostu dle DIN Fachbericht 102 [20]. [21]

Spodní stavba:

1 Widerlager – opěra

2 Flügel – mostní křídlo

3 Pfeiler – pilíř

4 Fundamente – základová patka

5 Auflagerbank – úložný práh

6 Pfähle – piloty (hlubinné základy)

7 Pfahlkopfplatte – základová deska

8 Schleppplatte – přechodová deska

9 Kammerwand – závěrná zeď

Prvky spodní stavby dle DIN odpovídají české normě ČSN

Tab. 1 Porovnání nejdůležitějších pojmů dle betonových mostů dle DIN a ČSN

DIN Fachbericht 102 – Betonbrücken [20]	ČSN 73 6200 [19]
Rozpětí (Stützweite): délka mezi dvěma opěrnými body v podélném směru mostu	Rozpětí: vzájemná vzdálenost dvou sousedících teoretických podpor nosné konstrukce, nosného prvku nebo konstrukčního dílu (...)
Světlá šířka (lichte Weite): vzdálenost vymezená dvěma konstrukčními částmi jako jsou pilíře nebo opěry	Světlost mostního otvoru: vodorovná vzdálenost mezi líci podpěr, které omezují mostní otvor po stranách (...)

Světla výška (<i>lichte Höhe</i>): vzdálenost mezi nejnižším místem překážky a spodním okrajem konstrukce	Volná výška pod mostem: nejmenší výškový rozdíl mezi temenem kolejnice přemostované dráhy, povrchem přemostované pozemní komunikace, uvažovanou hladinou vodního toku, (...) terénem atd. a nejnižším místem mostu (včetně průhybu)
Stavební výška (<i>Bauhöhe</i>): vzdálenost měřená mezi spodním okrajem nosné konstrukce a úrovní komunikace/hlavy kolejnice	Stavební výška: výškový rozdíl mezi niveletou mostu a nejnižším bodem konstrukce včetně vybavení (...)
Konstrukční výška (<i>Konstruktionshöhe</i>): vzdálenost měřená mezi spodním a horním okrajem nosné konstrukce	Konstrukční výška: výška nosné konstrukce nebo její části (desky, trámu atd.)
Úhel křížení (<i>Kreuzungswinkel</i>): úhel mezi osami protínajících se objektů (uváděno v gradech)	Úhel křížení: půdorysný, ostrý nebo nanejvýše pravý úhel, který svírá osa mostu (osa koleje) s osou přemostované překážky v místě jejich křížení

2.4 DRUHY PROHLÍDEK DLE DIN 1072 [11]

Norma DIN 1072 specifikuje čtyři druhy prohlídek:

- Hlavní prohlídka (H)
- Běžná prohlídka (E)
- Mimořádná prohlídka (S)
- Prohlídka dle zvláštního předpisu (V)

HLAVNÍ PROHLÍDKA

První hlavní prohlídka se provádí při převzetí stavby, druhá pak před vypršením záruční lhůty. Dále musí být inženýrské stavby podrobeny hlavní prohlídce **každý šestý rok** od výstavby.

Hlavní prohlídka má za úkol zkontrolovat všechny dostupné části díla. Obtížně dostupné části případně s pomocí pomocných zařízení. Kryty stavebních dílů (např. ochranné kryty na lana, ložisková pouzdra atd.) musí být otevřeny a zkontrolovány.

Pokud je to nutné, jednotlivé části musí být očištěny před prohlídkou, aby bylo možno odhalit skryté nedostatky/poškození. Prohlídka musí také zahrnout hodnocení mostního vybavení.

Nedostatky/poškození musí být znovu zkontrolovány v následující běžné prohlídce nebo v kratším období. To platí zejména pro nedostatky/poškození, které by mohli mít v dohledné budoucnosti vliv na stabilitu, bezpečnost silničního provozu nebo na trvanlivost konstrukce.

Hlavní prohlídka musí ověřit alespoň následující:

- Únosnost mostní konstrukce
- Dopravní značení
- Spodní stavba
- Svrchní stavba
- Výztuž a další kovové prvky
- Dřevěné konstrukce
- Ložiska, závěry, kloubová připojení
- Těsnění vozovky a odvodnění
- Povrchy stěn
- Ochranné prvky
- Ochrana proti korozi
- Inženýrské sítě
- Geodetická kontrola

BĚŽNÁ PROHLÍDKA

Tři roky po hlavní prohlídce se inženýrská stavba podrobí zjednodušené prohlídce. Prohlídka má být vykonána v rozumných mezích bez použití zvláštního zařízení nebo vybavení. Této prohlídce se mají podrobit funkční části (např. mostní ložiska, mostní závěry atd.) a také kotvení konstrukčních částí (např. svodidel, protihlukových stěn atd.). Pokud je to třeba, měla by být zkontrolována také spodní stavba.

Běžná prohlídka má brát v úvahu nedostatky/poškození zaznamenané v protokolu po prohlídce hlavní. Pokud běžná prohlídka objeví závažné nedostatky/poškození nebo značné změny oproti protokolu z předchozí prohlídky, má se rozšířit celkově nebo částečně na rozsah prohlídky hlavní.

MIMOŘÁDNÁ PROHLÍDKA

Mimořádná prohlídka musí být provedena po událostech, které mohly přímo ovlivnit stav konstrukce nebo pokud je to nutné po prohlídce konstrukce. Rozsah vyšetření vyplývá z daného mimořádného důvodu.

PROHLÍDKA DLE ZVLÁŠTNÍHO PŘEDPISU

V případě mechanických a elektrických systémů musí být zkontrolováno, jestli monitorování nebo zkušební cykly proběhly v souladu s požadavky a v případě nedostatků nebo poškození musí být vhodně zajištěno jejich odstranění.

2.4.1 MONITOROVÁNÍ KONSTRUKCÍ

Mimo kontrolní prohlídky podléhají konstrukce nepřetržitému monitoringu. Ten se dělí dle DIN 1072 rozdělit do dvou skupin v závislosti na četnosti kontrol.

BĚŽNÝ DOHLED

Všechny inženýrské stavby musí být pravidelně prohlédnuty **jednou za rok** bez větších nároků na vybavení, ale mají být prohlédnuty všechny části konstrukce z přístupných dutin, z úrovně vozovky a z úrovně terénu. Vyloučeny z prohlídky jsou roky, ve kterých byla provedena hlavní nebo běžná prohlídka.

PRŮBĚŽNÝ DOHLED

Všechny inženýrské stavby mají být monitorovány nepřetržitě v rámci všeobecného monitorování dopravní cesty. Kromě toho mají být veškeré konstrukční části podrobeny kontrole **dvakrát ročně** bez nutnosti vybavení, z úrovně vozovky a z úrovně terénu. V tomto případě mohou být odhaleny značné poruchy a/nebo poškození, které by mohly ohrozit statiku konstrukce nebo bezpečnost provozu.

2.4.2 PRŮBĚH PROHLÍDKY

Hlavní body prohlídky jsou uvedeny v DIN 1076. Obecně má být vykonáno následující:

- Příprava pracoviště (např. zajištění bezpečnosti provozu, přístupového zařízení a bezpečnosti práce)

- Instruktaž a koordinace všech osob podílejících se na prohlídce
- Samotná prohlídka
- Zaznamenání zjištěných závad a poškození, tvorba náčrtů a fotografií

Četnost prohlídek a monitorování mostů dle DIN 1076 shrnuje následující tabulka:

Tabulka 1 Přehled četnosti prohlídek dle DIN 1076 [4]

Typ prohlídky ¹	Prohlídka při převzetí	Počet prohlídek před vypršení záruční lhůty					Počet prohlídek před koncem životnosti						
						Prohlídka před vypršení záruční lhůty							
	Rok výstavby	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
LB²		2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×	2×
B		1×	1×		1×		1×	1×		1×	1×		1× ³
E				●					●				Každý 6. rok
H⁴	●					●							Každý 6. rok
S		Kvůli zvláštnímu nařízení nebo po silné bouři, dopravní nehody nebo jiných událostí, které mají vliv na stabilitu konstrukcí.											

¹ LB = Průběžný dohled, B = Běžný dohled, E = Běžná prohlídka, H = Hlavní prohlídka, S = Mimořádná prohlídka (speciální)

² Nepřetržitý dohled průběžně celkově a dodatečně 2x ročně kontrola všech částí.

³ S výjimkou let, kdy se provádí běžná prohlídka

⁴ Pro dřevěné mosty platí zvláštní předpisy

2.5 DRUHY PROHLÍDEK DLE ČSN 73 6221 [18]

Norma ČSN 6221 specifikuje čtyři druhy prohlídek:

- Hlavní prohlídka
- Běžná prohlídka
- Mimořádná prohlídka
- Kontrolní prohlídka

HLAVNÍ PROHLÍDKA

Četnost hlavních prohlídek je stanovena podle materiálu, ze kterého je most postaven a podle klasifikačního stupně stavu mostu. U betonových mostů je to minimálně jednou za 2 až 6 let. Při hlavní prohlídce se prověřují všechny části mostu z hlediska jejich spolehlivosti, tj. únosnosti, životnosti, použitelnosti a zachování bezpečnosti provozu. Tuto prohlídku má vykonat oprávněná fyzická nebo právnická osoba. Stav mostu je na základě prohlídky definován v protokolu.

BĚŽNÁ PROHLÍDKA

Četnost běžné prohlídky závisí na klasifikačním stupni stavu buď jedenkrát nebo dvakrát ročně. Během běžné prohlídky se prohlíží všechny přístupné části mostu. Pozornost má být věnována zejména bezpečnosti a použitelnosti mostu. Tato prohlídka má být vykonána správcem mostu. Na základě běžné prohlídky se stanoví běžná údržba případně se doporučí další prohlídky mostu.

MIMOŘÁDNÁ PROHLÍDKA

Mimořádná prohlídka se provádí vždy po mimořádných událostech, které by mohli mít vliv na únosnost mostní konstrukce a také před koncem záruční doby na dodávku stavebních prací. Tato prohlídka stanoví okamžitý stav mostu v plném nebo částečném rozsahu hlavní prohlídky. Na tuto prohlídku musí správce mostu povolat oprávněnou osobu.

KONTROLNÍ PROHLÍDKA

Kontrolní prohlídka se provádí v intervalu 4–6 let. Prohlídka vykonává státní odborný dozor. Touto prohlídkou nesmí být pověřen správce mostu.

Četnost prohlídek betonových mostů dle ČSN 73 6221 shrnuje následující tabulka:

Tab. 2 Přehled četnosti kontrolních prohlídek dle ČSN 73 6221 [18] (pouze pro betonové mosty).


Typ prohlídky	Četnost kontrolních prohlídek*						
	Klasifikační stupeň stavu						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Hlavní	min. 1× za 6 let			min. 1× za 4 roky		min. 1× za 2 roky	
Běžná	min. 1× ročně			min. 2× ročně			
Kontrolní	v intervalu 4–6 let						
Mimořádná	Po mimořádných událostech (živelné pohromy, pohyb území, zjištění nebezpečných jevů za jízdy vozidel po mostě atd.).						

* uvedené intervaly se mohou přiměřeně zkrátit v odův. případech, které definuje v ČSN 73 6221

2.6 EVIDENCE MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ

2.6.1 EVIDENCE MOSTŮ V SRN

V Německu jsou evidovány mosty, prohlídky, mostní listy a protokoly o prohlídkách. Záznamy jsou vedeny v takzvaném „BMS“ systému (systém údržby staveb) a přístup k nim mají pouze pověřené osoby. Mostní list, který mimo základních informací o konstrukci obsahuje také specifické požadavky na vybavení a pokyny pro kontrolu. [4]



LBV - SH
Niederlassung Rendsburg

Übersichtsblatt
Version 1.91 - Druck vom 10.12.2015

Teil-BW 1923503 0 (1923603)

Seite 2

Name: **B 430 / B 77 (BW 2303/)**

Bemerkung:

Art: **Plattenbalkenbrücke, Trägerrostbrücke**

Ort: **Hohenwestedt**

Konstrukt.: **3-feldrige Spannbeton-Plattenbalkenbrücke**

Stadium: **Bauwerk unter Verkehr**

Stat.Sys.L: **Mehrfeldrig mit Durchlaufwirkung**

Stat.Sys.Q: **Keine Angabe erforderlich**

Amt: **NL Rendsburg**

SM: **SM Hohenwestedt (RD)**

HP: **18.10.2011** Prüfwahl: **2011**

EP: **24.06.2014** Prüfwahl: **2014** Zustand: **2,0** Ges.länge: **47,26 m**

Brkl: **LM1** MLC RJK: **100/50 | 70/50** Baujahr: **1982** Breite: **14,12 m**

NRG-Stufe: **2** NRG-Klasse: **B** NR-Nutzungsdauer bis: Br.fläche: **668 m²**

Bst.Ubb.: **Spannbeton** Winkel: **100,0 - Ohne gon**


Q.UBB: **Zweistegiger Vollquerschnitt** UI/UA: **UI/UA bei SBV**

Q.HTW: **Mit Querschnitt des Überbaus identisch** Baulast: **Bund**

Felder: **3** Stw: **13.13 - 21.00 - 13.13 m**

Lage	Straße	Von Nk	Nach Nk	Netzknoten abschnitt	Station Mitte [m]	KM	Min B [m]	Min H [m]	Schilder StVO/Menge
O:	B 430	1923002	1923012	070	0	23,128	10,62		
*U:	B 77	1923002	1923001	130	0	78,598	7,50	4,74	

U: Geh- und Radweg



Obr. 9 Ukázka části mostního listu zpracovaného dle DIN 1076. Tento konkrétní most je předmětem praktické části [22]

2.6.2 EVIDENCE MOSTŮ V ČR

V České republice podléhají evidenci mosty samotné, dále mostní listy, prohlídky, mapy a archiv objektů. Mapové podklady lze volně nalézt na stránkách Ředitelství silnic a dálnic. Existuje zde také takzvaný „Bridge management systém – BMS“ neboli Systém hospodaření s mosty, kde je možné procházet online databázi až čtyři sta tisíc objektů různého charakteru. Systém obsahuje modul evidenční, inspekční, údržbový a finanční. Na rozdíl od německých databází je tato databáze přístupná i pro veřejnost.

2.7 SYSTÉM HODNOCENÍ STAVU MOSTU

2.7.1 HODNOCENÍ V SRN

Výsledky prohlídky konstrukce včetně naměřených údajů, výsledků dodatečných zkoušek, náčrty a fotografie mají být zaneseny do protokolu o prohlídce (viz obr. 10) dle pokynů jednotné evidence o prohlídkách RI-EBW-PRÜF [13] tak, jak to předepisuje norma DIN 1076 [11]. [4]



LBV - SH
Niederlassung Lübeck
BDC Dorsch Consult

Teil-BW 2230872 0 (2230802)
Straße
Bw-Amt NL Luebeck
AM/SM SM Breitenfelde

Prüfbericht 2010 H

nach DIN 1076

Bauwerksname	B 208 "Lüneburger Damm" / Verbindungskanal
Teilbauwerksname	
Kreis	Kreis Herzogtum Lauenburg
Ort	Ratzeburg
Bauwerksrichtung	von Westen nach Osten
Bauwerksart	Brücke mit Balken- / Plattenmischsystem
Tragfähigkeit	
Baujahr	1990



Prüfrichtung von Westen nach Osten
Prüfer Dipl.-Ing. J.Beyer
Prüfung vom 07.04.2010 bis 17.05.2010

Zustandsnote: 2,5

Obr. 10 Titulní strana protokolu o prohlídce dle požadavků DIN 1076 [23]

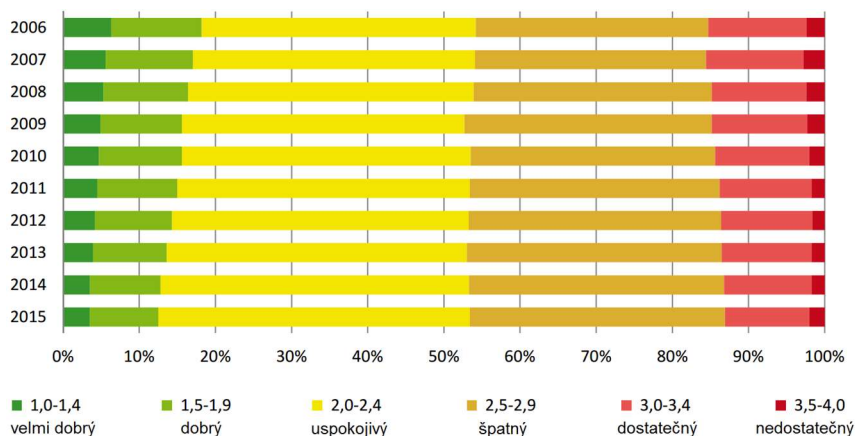
Databáze RI-EBW-PRŮF [13] nyní obsahuje přibližně 1700 hodnocení, která mají pomoci zajistit jednotnost v hodnocení. V případě větších konstrukcí nebo v případě většího poškození se doporučuje zaznamenat poruchy/poškození pomocí náčrtu a pro lepší dokumentaci může být nezbytné také přiložit fotografie v digitální podobě. Dle rozsahu poruch doporučí specializovaný technik vhodná opatření. Tato opatření jsou detailně definována v systému ABS-ING [15].

Na základě zjištěných poruch/poškození zjištěných při prohlídce specializovaný technik ohodnotí stav konstrukce číselně od 1,0 do 4,0 dle požadavků systémového programu RI-EBW-PRŮF [13]. Poruchy a poškození mají být posouzeny podle kritérií stability (S), dopravní bezpečnosti (V) a trvanlivosti (D).

Tab. 3 Rozsah hodnocení mostních konstrukcí podle RI-EBW-PRŮF [13]

Hodnocení	Stav konstrukce
1,0 - 1,4	Velmi dobrý stav
1,5 - 1,9	Dobrý stav
2,0 - 2,4	Uspokojivý stav
2,5 - 2,9	Špatný stav
3,0 - 3,4	Dostatečný stav
3,5 - 4,0	Nedostatečný stav

Vývoj hodnocení za posledních deset let ukazuje, že se stav zhoršuje. I když stavby s hodnocením 3,0 mohou být často relativně snadno sanovány, přibývá množství staveb s hodnocením 2,0 a více (viz obr. 11). Hodnocení dále ukazuje, že mosty delší než 100 m mají obvykle hodnocení 3. To může být vysvětleno tím, že většina těchto mostů byla postavena v letech 1960 až 1980 a jsou převážně umístěny na dálnicích, kde jsou vystaveny většímu zatížení ve srovnání s mosty na silnicích. [3]



Obr. 11 Vývoj hodnocení mostů od roku 2006 po rok 2015 (stav k 1. 3. 2015) [3]

2.7.2 HODNOCENÍ V ČR

Posouzení stavu mostu popisuje norma ČSN 63 6221. Norma zavádí takzvaný klasifikační stupeň stavu v rozmezí I – VII, který je zaznamenán do seznamu mostů a do mostního listu. Stupeň stavu určí pověřená osoba na základě hlavní nebo mimořádné prohlídky dle stavu spodní stavby a nosné konstrukce mostu. [18]

Tab. 4 Klasifikační stupně stavu mostů dle ČSN 73 6221 [18].

Klasifikační stupeň stavu	Stav konstrukce
I	Bezvadný
II	Velmi dobrý
III	Dobrý
IV	Uspokojivý
V	Špatný
VI	Velmi špatný
VII	Havarijní

Ředitelství silnic dálnic eviduje k 1. 1. 2017 nejvíce mostů s klasifikačním stupněm IV, celkem 29,3 % (5 154) mostů. Následují mosty s hodnocením III – 20,8 % (3668) mostů. Konstrukce s hodnocením I, II a V zastupují každý asi 15 % celkového počtu mostů. Nejméně je mostů s hodnocením VI – 4,6 % a VII – 0,7 %. [1]

2.8 POROVNÁNÍ DIAGNOSTICKÝCH A LABORATORNÍCH METOD

Obecně se dají diagnostické metody používané v Německu rozdělit na klasické metody a automatizované vizuální metody. Mezi klasické metody patří například:

- poklepání betonových povrchů pro detekci dutin, měření trhlin
- kontrola těsnosti spojovacích prostředků (šrouby)
- měření deformace, měření posunů a pootočení ložisek,
- chemická analýza (míra karbonátace, stanovení koncentrace chloridových iontů) betonových částí pro odhad rizika koroze výztuže
- měření pevnosti v tlaku pomocí Schmidtova tvrdoměru nebo pomocí laboratorní analýzy na odebraném jádrovém vývrtnu

Čím dál tím významnější jsou nedestruktivní metody. Obecně lze říci, že tyto metody se používají při provádění analýzy objektu OSA [14]. Jsou to například:

- Měření elektrochemického potenciálu pro stanovení aktivních chloridů indikujících korozi v železobetonu
- ultrazvukové metody pro detekci dutin, výztuže nebo lokalizaci trubek
- infračervená termografie pro detekci poškození způsobené vlhkostí (např. odlupování částí nebo podemletí povrchu vozovky)
- radarové měření a laserové měření pro zachycení povrchu staveb a stavebních konstrukcí

Automatizované vizuální metody jsou využitelné pouze pro konkrétní typy nebo části konstrukcí. Jedná se například o skenování ploch (např. tunelů) laserem nebo o automatickou kontrolu mostních kabelů. Tyto metody mohou dopomoci zkrátit čas potřebný pro kontrolu, zlepšit prevenci úrazů nebo snížit celkové náklady. [4]

Laboratorní metody jsou využívány zejména na jádrových vývrtech. Stanovuje se celá řada veličin například pevnost v tlaku, statický nebo dynamický modul pružnosti, pevnost v příčném tahu, pevnost v tahu ohybem, pevnost v prostém tahu a další.

V ČR jsou používány prakticky identické diagnostické metody pouze ne vždy v daném rozsahu nebo kombinaci. Podstatně více je zde využíváno jádrových vývrtů a tvrdoměrných nedestruktivních zkoušek s upřesněním na jádrových vývrtech. V poslední době se začínají prosazovat měření elektrochemického potenciálu a rovněž chemické analýzy.

Ačkoliv jsou používané metody prakticky stejné nalezneme zde i nějaké rozdíly. Například ultrazvuková metoda pro detekci dutin, výztuže nebo lokalizaci trubek je zde naprosto nepoužívaná. Naopak se pro lokalizaci výztuže se zde používá metoda radaru (např. Hilti).

Co se laboratorních metod týče oblíbené jsou v Česku například jádrové vývrty převážně s cílem stanovit pevnost v tlaku. Mezi další oblíbený způsob testování patří mimo jiné odtrhové zkoušky a mnoho dalších. [24]

3 PROHLÍDKA A DIAGNOSTIKA MOSTNÍHO OBJEKTU

3.1 ÚVOD

Předmětem praktické části je prohlídka a následná diagnostika mostního objektu v Německu. Pro účely porovnání postupu prohlídky a dokumentace poruch byl vybrán adekvátní most v České republice, který byl podroben diagnostickému průzkumu firmou Mostní vývoj. Ve svém závěru se pak bakalářská práce pokusí porovnat diagnostické metody používané v obou zemích. V případě německého mostu na základě provedených zkoušek a v případě mostu v České republice na základě závěrečné zprávy [25] společnosti Mostní vývoj.

Co se týče vyšetřovaného mostu v Německu, jež je primární náplní praktické části, zakázku na jeho diagnostiku získal prof. Dr.-Ing. U. Diederichs (Hochschule Wismar), u kterého jsem působil jako stážista v rámci programu Erasmus+. Objekt se nachází v německé obci Hohenwestedt patřící do spolkové republiky Schleswig-Holstein.

Prohlídka byla iniciována spolkovým ministerstvem dopravy, stavebnictví a urbanistiky, které za účelem statického přepočtu stávajících mostních konstrukcí, vydalo pokyn „Nachrechnungsrichtlinie“ [8]. Jedná se o odstupňovanou metodiku, která využívá až 4 různé stupně způsobů přepočtu v závislosti na požadované únosnosti. Statický výpočet byl proveden kanceláří KSK-Ingenieure, diagnostika pak proběhla pod vedením prof. Dr.-Ing. U. Diederichse.

Most byl podroben zpětnému statickému přepočtu podle prvního a druhého stupně přepočtové směrnice. Statický výpočet vypracovaný kanceláří KSK-Ingenieure ovšem odhalil nedostatky. Vzhledem k nevyhovujícím výsledkům bylo nutno provést přepočet podle třetího stupně směrnice. Pro výpočet předpjaté konstrukce podle třetího stupně bylo nutné získat skutečná data z konstrukce.

Jako adekvátní most pro porovnání byla vybrána konstrukce nacházející se v Brně, katastrální území Starý Lískovec. Tento most je již v pokročilém stupni degradace, a proto si Správa a údržba silnic Jihomoravského kraje objednala jeho diagnostický průzkum.

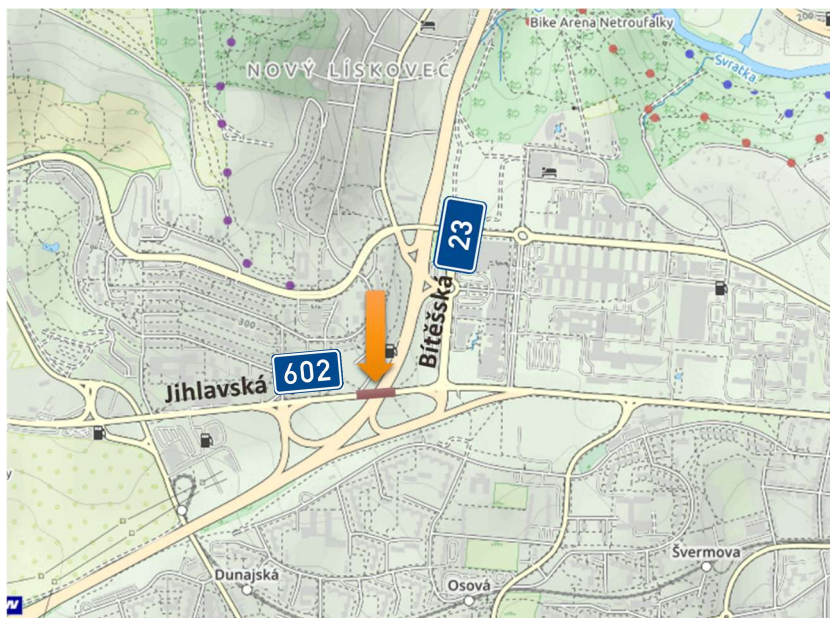
3.2 PROHLÍDKA A HODNOCENÍ OBJEKTU V ČR

3.2.1 IDENTIFIKACE OBJEKTU

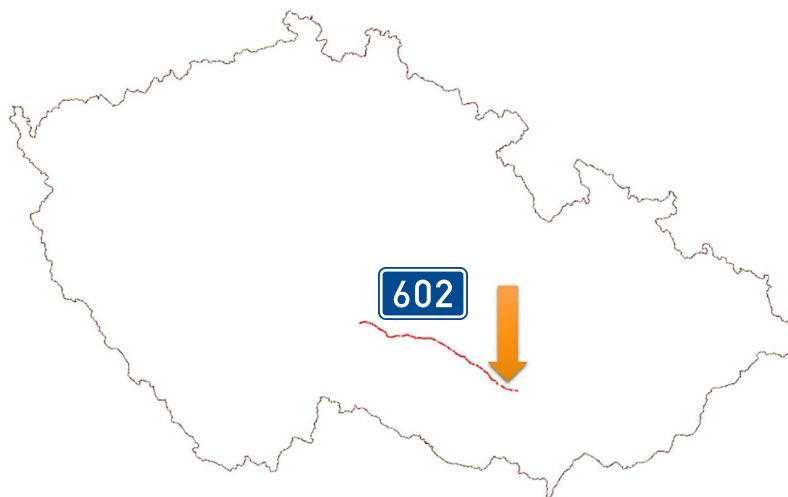
Jedná se o most (ev. číslo 602-001) o 4 polích o délce přibližně 80 metrů a šířce 20 metrů, postavený v roce 1973. Nosnou konstrukci tvoří v každém poli deska složená z prefabrikovaných železobetonových truhlíkových nosníků a skrytých příčníků. Po smontování nosné konstrukce byla pomocí předpínací výztuže z prefabrikovaných a monolitických částí vytvořena spojitá nosná konstrukce o 4 polích. Převáděná komunikace je II/602. Most se nachází v Brně, katastrální území Starý Lískovec. [25]



Obr. 12 Celkový pohled na vyšetřovaný most (ev. číslo 602-001). [25]



Obr. 13 Výřez mapy znázorňující polohu mostního objektu (ev. číslo 602-001) v širším okolí [26]



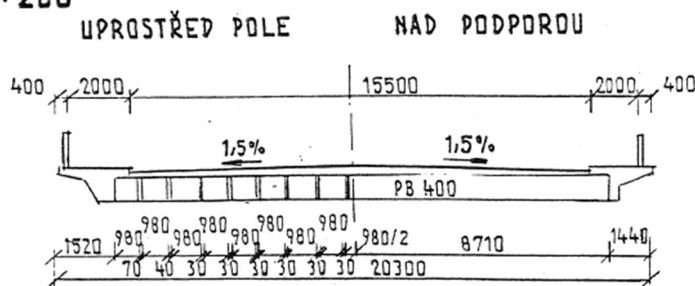
Obr. 14 Mapa České republiky s vyznačenou komunikací II/602, na které se nachází vyšetřovaný objekt. [27]

3.2.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

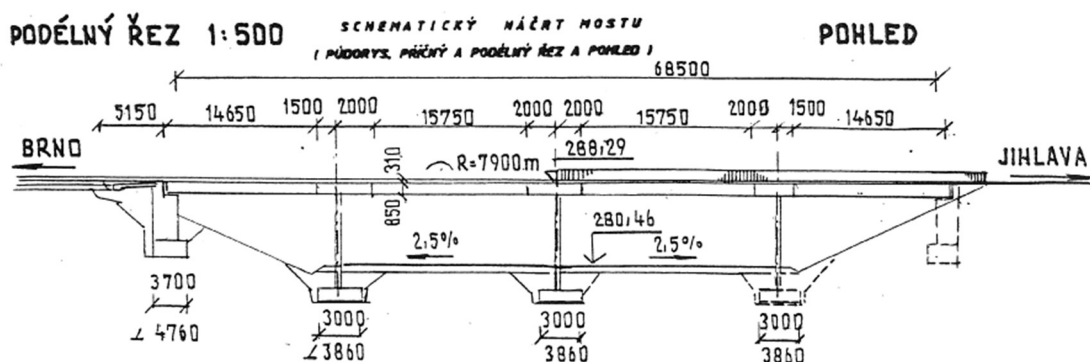
Název:	Jihlavská přes Bítešskou
Místo:	Brno (katastrální území Starý Lískovec)
Konstrukce mostu:	Deskový most z prefabrikovaných železobetonových truhlíkových nosníků a skrytých příčníků o 4 polích
Evidenční číslo:	602-001
Převáděná komunikace:	II/602
Správa/Okres:	Jihomoravský kraj/Brno-město
Rok výstavby:	1973

Údaje byly převzaty ze systému BMS [28]

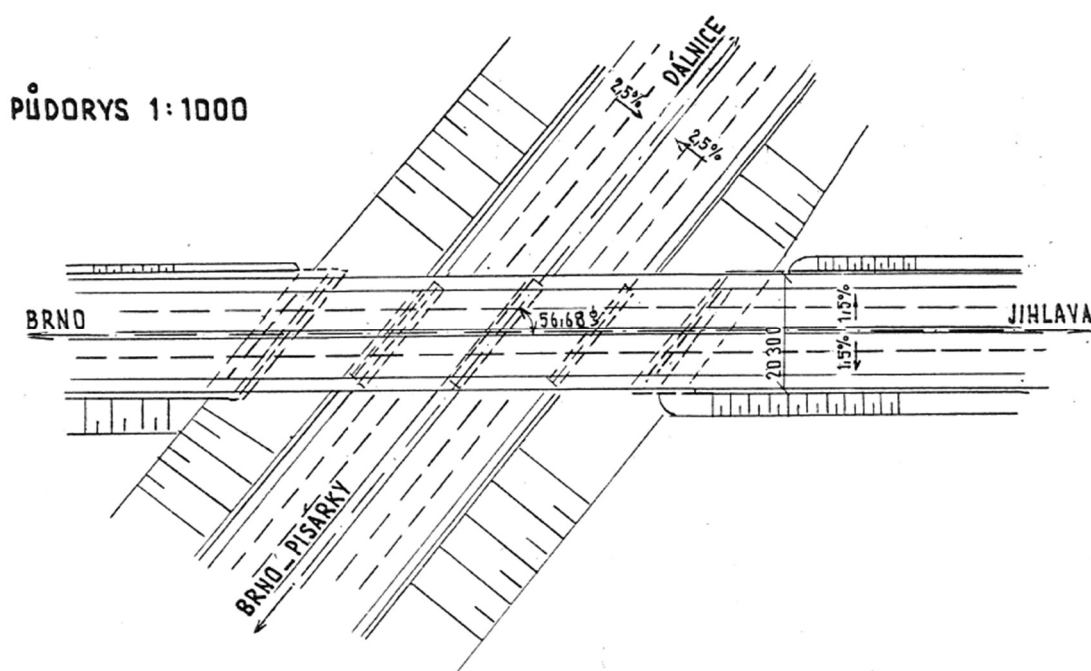
PŘÍČNÝ ŘEZ 1:200



Obr. 15 Schematický příčný řez vyšetřovaného objektu ve variantě uprostřed pole a nad podporou. [28]



Obr. 16 Schematický podélný řez vyšetřovaného objektu. [28]



Obr. 17 Schématický výkres situace vyšetřovaného mostního objektu. [28]

3.2.3 LOKÁLNÍ PROHLÍDKA

Lokální prohlídka byla provedena v únoru roku 2016 firmou Mostní vývoj s.r.o. Součástí prohlídky byl mostní spodek a nosná konstrukce.

Základy objektu nejsou přístupné. Podle mostního listu jsou opěry založeny na základových pásech. Ověření způsobu založení však nebylo součástí průzkumu. Mostní křídla jsou monoliticky spojena s opěrami. Založení je pravděpodobně stejné jako u opěr. Křídla byla pačokována a v místech závad byla opravována kvalitní cementovou maltou, jinak jsou ale ve špatném stavu zejména kvůli zatékání vody.

Členěná mezilehlá podpěra je složena ze tří sloupů, které se směrem nahoru rozšiřují. Se skrytými příčníky nosné konstrukce jsou spojeny pravděpodobně vrubovým kloubem.



Obr. 18 Na sloupy mezilehlé podpěry zatéká ze skrytého monolitického předpjatého nosníku, ovšem jejich paty jsou vystaveny zvětrání a koroze výztuže.

Paty sloupů byly v minulosti opatřeny ochranným nátěrem, ovšem buď příliš pozdě nebo byl použitý nátěr nevhodný, a tak paty sloupů zvětraly a odhalila se tak jejich výztuž.



Obr. 19 Pata sloupu podléhá zvětrávání.

V některých patách sloupů byly také otvory pro nerealizovanou elektroinstalaci. Tyto otvory byly následně zazděny voštinovými pálenými cihlami. Na obr. 20 jsou ve spodní části patrné také trubky sloužící jako chráničky kabelů.



Obr. 20 Pata sloupu zvětrala a obnažila se její výztuž. Cihlami je vyplněn prostor nerealizované rozvodné skříňky. Trubky vedené zdola do tohoto prostoru slouží jako chráničky kabelů.

Opěry jsou obecně ve velmi špatném stavu. Beton použit pro zhotovení jejich dříků byl velmi nízké kvality, a navíc jsou opěry vystaveny zatékání přes dilatační spáry mezi nosnou konstrukcí a závěrnými zdmi. Dalším zdrojem zmáčení, zejména čel opěr je nefunkční systém odvodnění.

Tyto zdroje nepravidelného zmáčení zapříčiňují vyvětrání místy až do hloubky 200 mm (viz obr.21). Dlažba svahu je zatím celistvá, ovšem jsou zde viditelné poklesy a boulení. Pod prostorem odvodňovačů je dlažba celkově rozpadlá.



Obr. 21 Opěra podléhá zvětrání místy až do hloubky 200 mm. To je způsobeno špatnou kvalitou materiálu, který byl použit pro dřík opěry a samozřejmě také zatékáním smáčejícím celou oblast.

Podhled nosníků je vystaven zatékání přes podélné spáry a trhliny v dolních deskách špatně odvodněných truhlíkových nosníků. Vznikají zde také inkrustace, nikoliv však silné. Betonářská výztuž prosvítá a koroduje pouze tam, kde je vystavena dlouhodobě zmáčení. Do jaké míry je zasažena koroze výztuž předpínací není na základě prohlídky zřejmé.



Obr. 22 Podhled nosníků je vystaven zmáčení, jehož důsledkem je odhalená a korodující betonářská výztuž (většinou rozdělovací). V malé míře jsou patrné vápnité inkrustace.



Obr. 23 Světlejší nezmáčený povrch (v pozadí) je skrytý monolitický příčník do něhož jsou vetknuty truhlíkové nosníky. V popředí je zcela zkorodovaný odvodňovač, který zmáčí své okolí, takže je zde velmi odhalena betonářská výztuž.



Obr. 24 Silně zkorodovaný mostní odvodňovač. Patrné jsou vápnité inkrustace způsobené protékáním vody podélnými spárami mezi nosníky a vyluhováním vápnitých složek z betonu.

Celkově je most ve velmi špatném stavu. Nosná konstrukce je klasifikována stupněm V – špatný a spodní stavba dokonce stupněm VI – velmi špatný. Použitelnost mostu ohodnocena stupněm IV – omezená použitelnost. Proto se také musela zvýšit frekvence prohlídek mostu, což vyplývá ze záznamů v systému BMS [28].

Špatný až velmi špatný stav mostu je tedy zapříčiněn zejména zatékáním vody a nedostatečnou údržbou potažmo nevčasnou opravou vzniklých vad přímo se podílejících na chátrající stav konstrukce.

3.3 PROHLÍDKA A DIAGNOSTIKA OBJEKTU V SRN

3.3.1 IDENTIFIKACE OBJEKTU

Jedná se o trémový most (ev. číslo 1923603) o 3 polích z předpjatého betonu, délky přibližně 47 metrů a šířky 14 metrů zbudovaný v roce 1982. Objekt se nachází v německé obci Hohenwestedt a zprostředkovává křížení dvou komunikací 1. třídy B 430 (Agethorst – Lütjenburg) a B 77 (Busdorf – Breitenburg), přičemž B 430 je komunikací převáděnou. [22]



Obr. 25 Pohled na mostní objekt B430/B77 (ev. č. 1923603) nacházející se v obci Hohenwestedt – spolková republika Schleswig-Holstein.



Obr. 26 Výřez mapy znázorňující polohu mostního objektu (ev. číslo 1923603) v širším okolí [26]



Obr. 27 Znáznornění komunikace B430 na mapě SRN. [29]

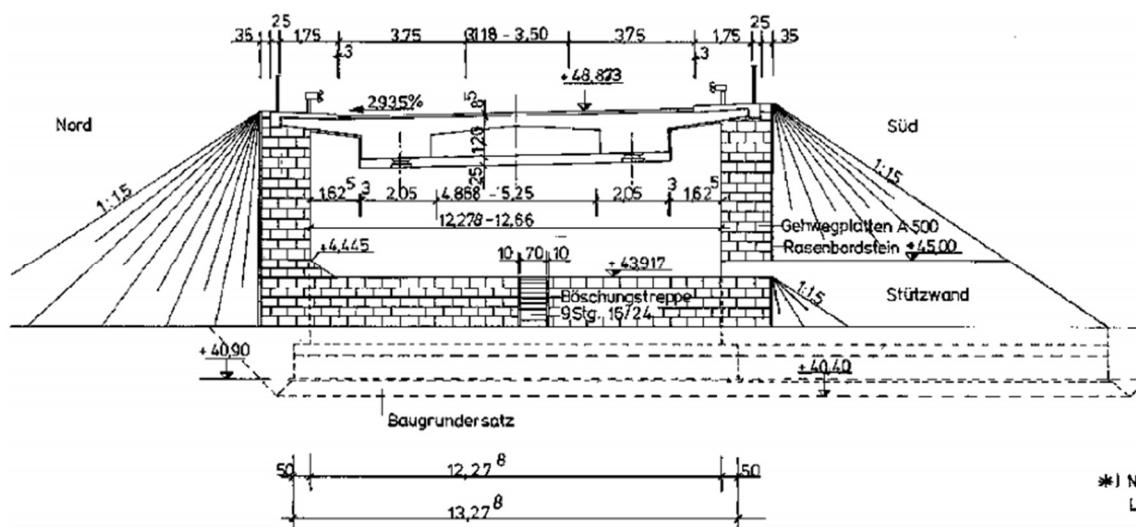
3.3.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Název:	B 430 / B 77 (BW 2303)
Místo:	Hohenwestedt (Schleswig-Holstein)
Konstrukce mostu:	Trámový most z předpjatého betonu o 3 polích
Evidenční číslo:	1923503
Převáděná komunikace:	B 430
Správa/Okres:	Kreis Rendsburg-Eckernförde
Rok výstavby:	1982

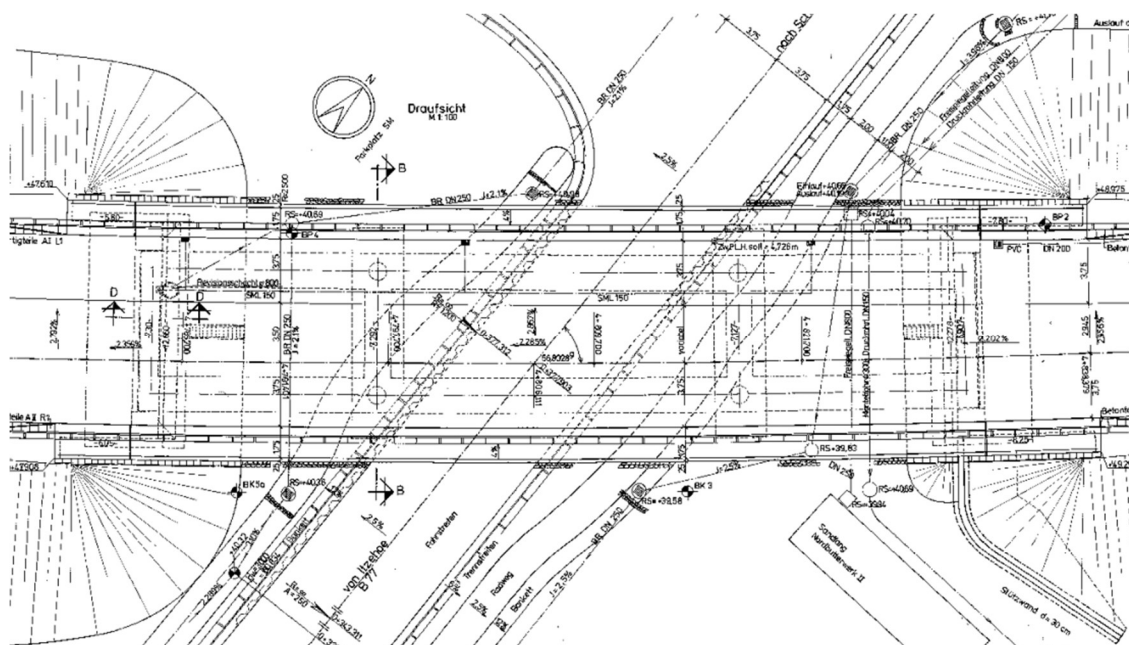
Údaje byly převzaty z mostního listu. [22]



Obr. 28 Schématický podélný řez vyšetřovaného mostního objektu. [22]



Obr. 29 Příčný řez vyšetřované mostní konstrukce. [22]



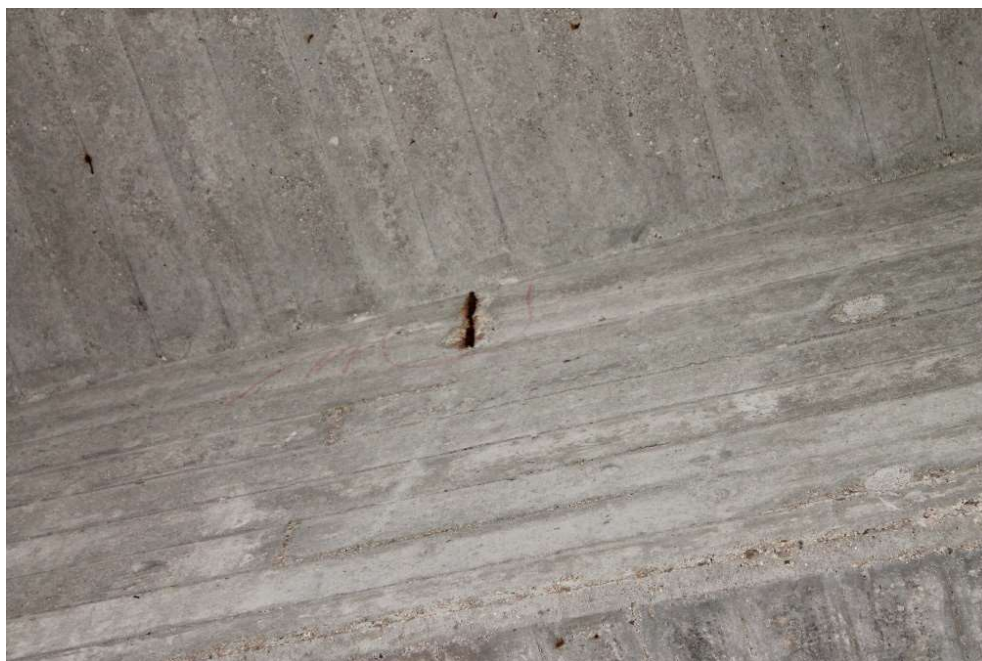
Obr. 30 Výkres situace vyšetřované mostní konstrukce. Jedná se o most s levou šikmoostí a s úhlem křížení 56,8028 g. Délka mostu 47,26 m. [22]

3.3.3 LOKÁLNÍ PROHLÍDKA KONSTRUKCE

První lokální prohlídka mostu se uskutečnila 17. 1. 2016, odběry vzorků pak probíhaly ve dnech 5. a 6. 4. 2016. Při prohlídce bylo zjištěno následující:

Při prohlídce nebyly zjištěny žádné poruchy na spodní stavbě. Zemní těleso násypu je bez viditelných poruch sedání a nerovností a je v rámci údržby pravidelně udržováno sekáním.

Na nosné konstrukci tvořenou podélníky a příčnicí je v některých částech na povrchu betonu viditelná koroze způsobená malým betonovým krytím výztuže (viz obr. 31,32).



Obr. 31 Detailní pohled na příčník v severovýchodní části, kde nedostatečné krytí betonu zapříčinilo odhalení betonářské výztuže a její následnou korozi, jejímž důsledkem je drolení betonu v okolí výztuže.



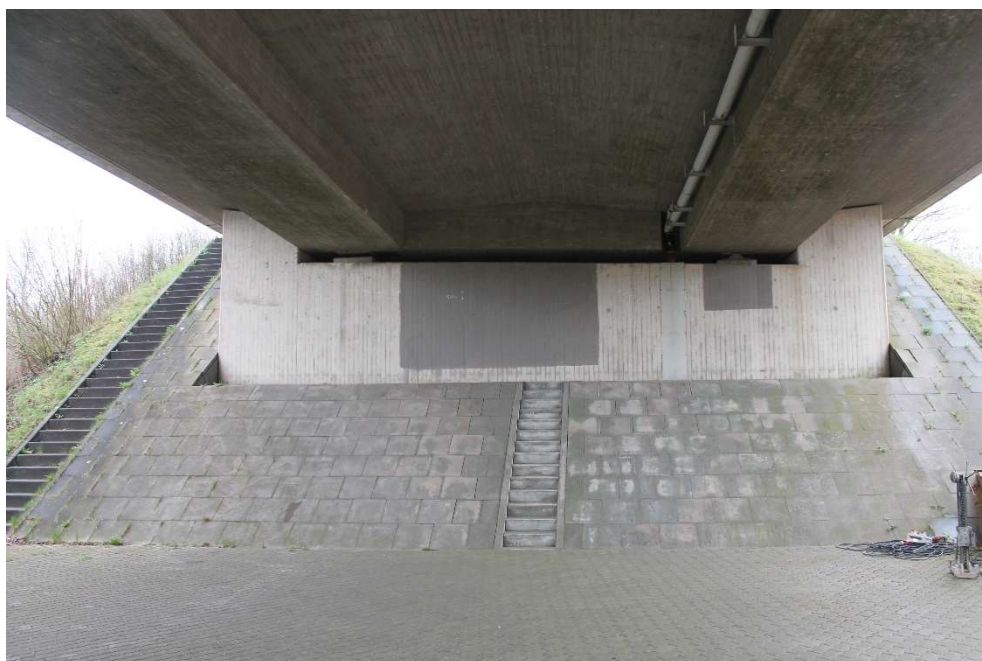
Obr. 32 Další případy drolení betonu způsobené korozí betonářské výztuže v severovýchodní části.

System odvodnění funguje spolehlivě pouze v některých místech prostupů je viditelná koroze z důvodu zapomenutého vázacího drátu (viz obr. 33).



Obr. 33 Koroze zanechaného vázacího drátu v oblasti severního pilíře

Oblast opěr byla v minulosti, v rámci údržby, lokálně opatřena ochranným nátěrem, jinak je ale také bez závad.



Obr. 34 Mostní opěra v jihozápadní části byla opatřena ochranným nátěrem.

Styk podélníků a příčníků je podpírán čtyřmi pilíři. Ani jeden z nich nejeví znaky poškození.



Obr. 35 Ani jeden ze čtyř pilířů mostu nejeví znaky poškození.

Asfaltový povrch vozovky je také bez poškození. V místech dilatačních spár (mostních závěrů) nad opěrami nejsou znát žádná poškození nebo jen v minimální míře. V oblasti jízdnic pásů nebyl nalezen důkaz o pronikání vlhkosti do konstrukce nebo jiné příznaky špatného zaizolování svrchní části.



Obr. 36 Pohled na mostní svršek. Asfaltový povrch vozovky ani mostní závěr nejeví znaky poškození. Stav mostního vybavení a říms je také bez poškození.

Římsy jsou železobetonové monolitické a jsou součástí nosné konstrukce. Ani u nich nebylo nalezeno poškození. Mostní vybavení také nejeví známky jakéhokoliv poškození, kovové zábradlí je navíc chráněno vlnitým plechem.



Obr. 37 Zábradlí je opatřeno vlnitým plechem.

Celkový stav konstrukce, která je 34 let stará, je po lokální prohlídce, která neodhalila žádná významné poruchy nebo poškození velmi dobrý.



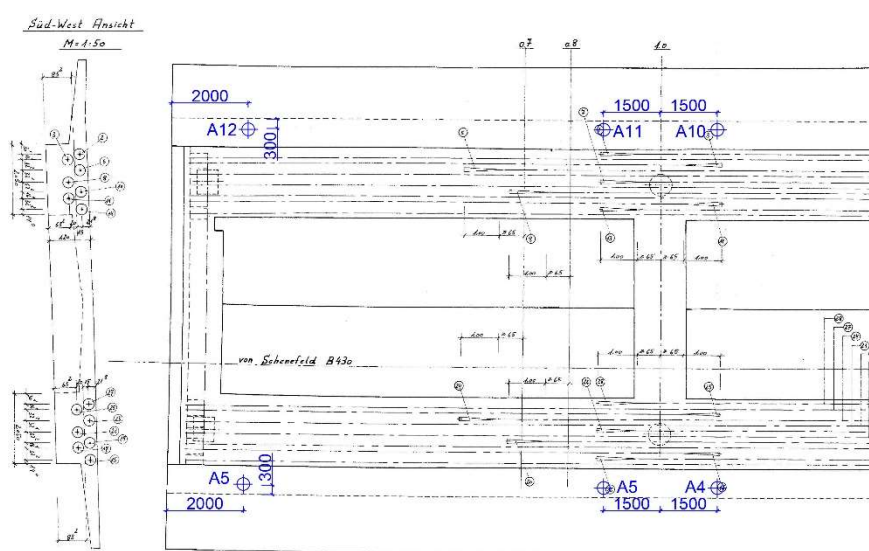
Obr. 38 Celkově je konstrukce ve velmi dobrém stavu.

3.4 EXTRAKCE VÝVRTŮ

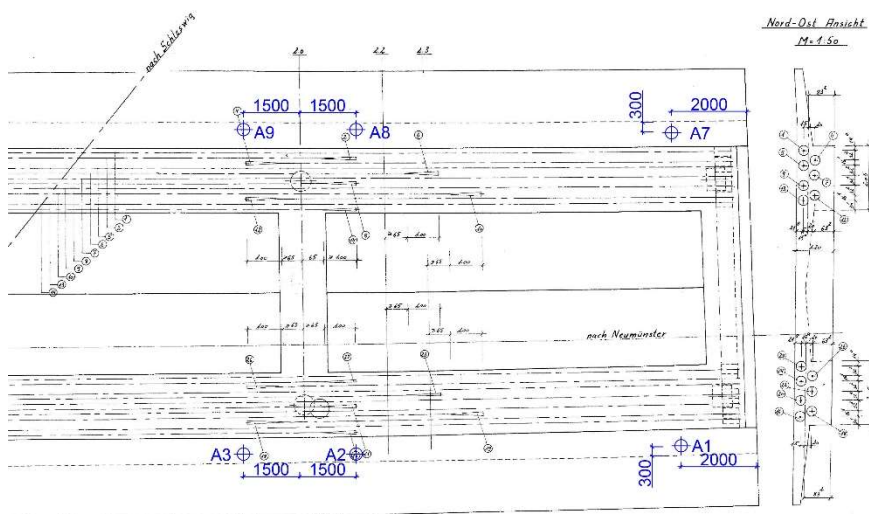
Vývrty byly extrahovány 5. dubna z povrchu vozovky a 6. dubna z nosné konstrukce. Vzorky odebrala firma Eichner Bau GmbH s použitím diamantového vrtáku s vodním chlazením. Ačkoliv plánovaný průměr vývrtů byl 100 mm, vrták použitý na místě měl průměr 94 mm, což muselo být zohledněno v následných výpočtech.

Celkem bylo odebráno 25 vzorků - 12 z povrchu vozovky, 6 ze spodní strany a 7 z bočních ploch podélných nosníků. Asfaltové vzorky A1 až A6 byly získány na severovýchodní straně mostu. Vzorky A7 až A12 jsou z jihozápadní okraje.

V oblasti povrchu vozovky bylo odebráno 12 jádrových vývrtů. Odběr by proveden zejména proto, aby se ověřila tloušťka a kvalita konstrukčních vrstev.

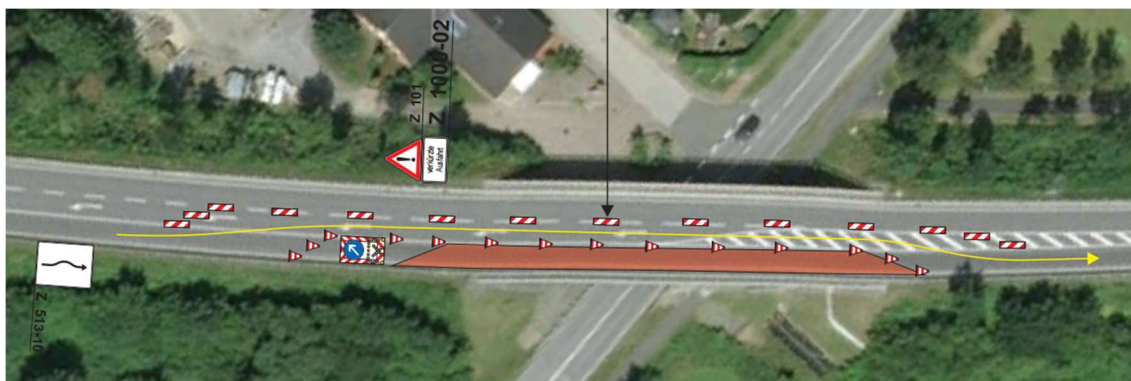


Obr. 39 Schéma míst odběrů z povrchu vozovky (jihozápadní pohled)



Obr. 40 Schéma míst odběrů z povrchu vozovky (severovýchodní pohled)

Před samotným odběrem byla z důvodu zajištění bezpečnosti práce odkloněna doprava podle schématu zpracovaného společností Eichner Bau GmbH.



Obr. 41 Schéma odklonění jednoho z jízdních pruhů do středu vozovky.



Obr. 42 Schéma odklonění jednoho z jízdních pruhů do středu vozovky.



Obr. 43 Technik firmy Eichner Bau při extrakci vývrtu A1 přibližně 2 metry od severovýchodního mostního závěru.

Z hlediska bezpečnosti práce zvolil technik, provádějící odběr, vhodný oděv včetně reflexní vesty při práci v dopravním prostoru. Dále byl vybaven pracovní obuví s ocelovou špičkou a sluchátky nikoliv však ochrannými brýlemi.



Obr. 44 Otvor ve vozovce po vývrtu A1. Ve spodní části vrtu je vidět betonový povrch.

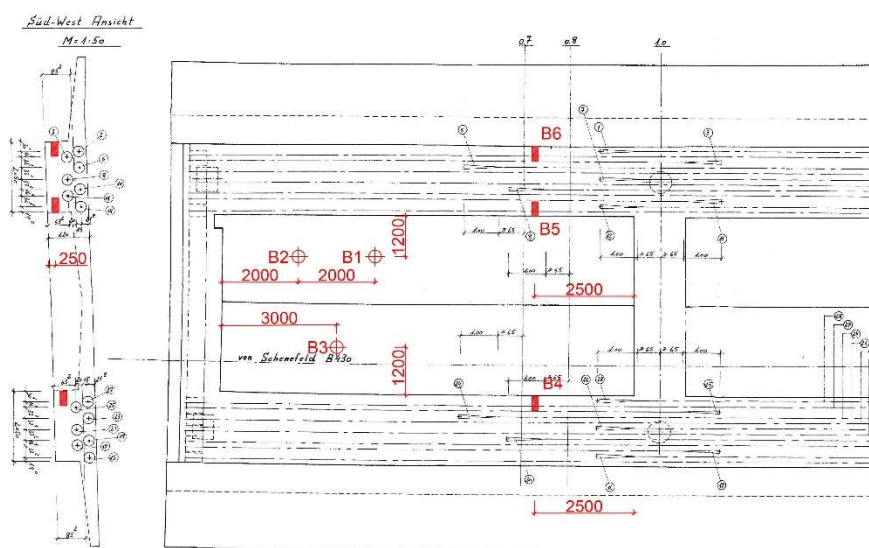
Přebytečná voda, chladící diamantový vrták, byla po vyjmutí jádrových vývrtů odsáta průmyslovým vysavačem a otvor byl vyplněn substancí na bázi asfaltu.



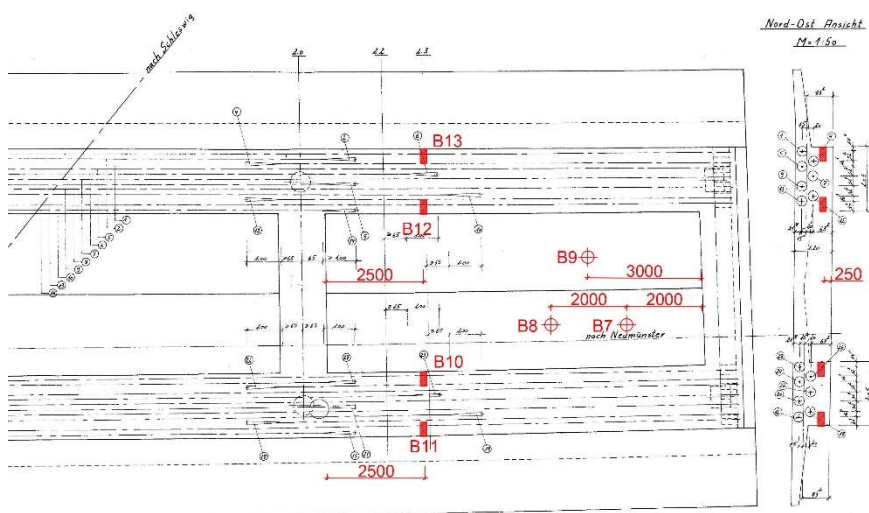
Obr. 45 Po extrakci vzorku A12 z jihozápadní části mostovky se oddělila krycí vrstva od podkladních vrstev.

Pro účely přepočtu bylo také zapotřebí určit materiálové charakteristiky betonu. Pro stanovení konkrétních charakteristik byly jádrové vývrtky odebrány v těchto oblastech:

- 6 vývrtů ($\varnothing = 100 \text{ mm}$, $l = 200 \text{ mm}$) zespodu nosné konstrukce ve vzdálenosti přibližně 2,5 metru od příčnicku (respektive od mostní opěry) pro určení pevnosti betonu v tlaku.
- 7 vývrtů ($\varnothing = 100 \text{ mm}$, $l_{\min} = 100 \text{ mm}$) z vnitřní a vnější strany mostních nosníků (z obou konců vždy cca 2,5 metru od příčnicku).



Obr. 46 Schéma míst odběrů z nosné konstrukce (jihozápadní pohled)



Obr. 47 Schéma míst odběrů z nosné konstrukce (severovýchodní pohled)

Odběry vzorků z nosné konstrukce opět prováděl technik firmy Eichner Bau GmbH vrtačkou s diamantovým vrtákem a vodním chlazením. Pro dosažení vysoko položených míst byla pronajata vysokozdvizná plošina Ruthmann TB 270 od firmy Meyerlift.

Místa odběrů byla stanovena s ohledem na polohu předpínacích kabelů, jejichž umístění bylo určeno z výkresové dokumentace. Mimo to, ale poloha kabelů a betonářské výztuže nebyla ověřována žádným přístrojem pro hledání výztuže, což bylo důvodem proč ve většině vývrtů byla zachycena měkká betonářská výztuž.



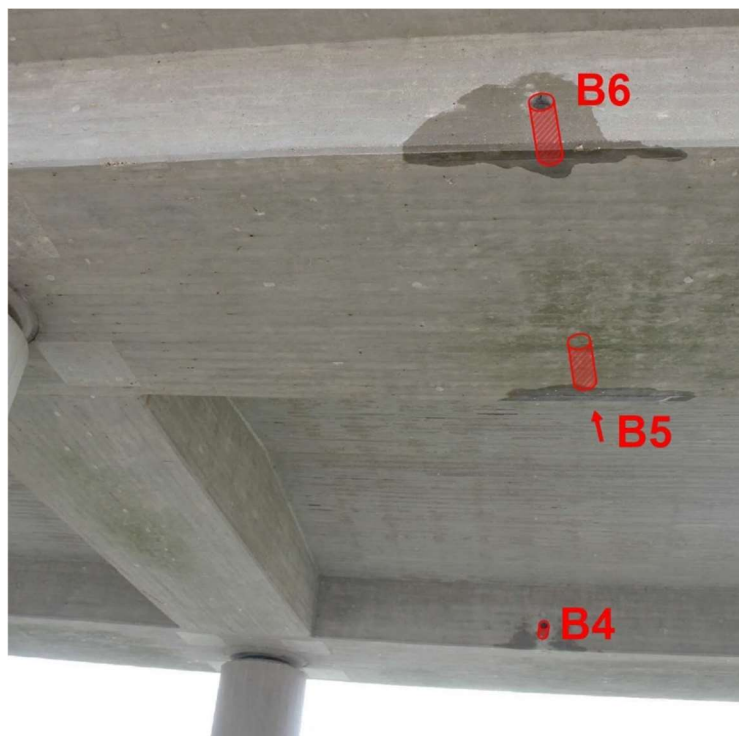
Obr. 48 Extrakce vývrtu B1 ze spodní nosné konstrukce, přibližně 4 metry od jihozápadní opěry.

Betonové vzorky B1 až B3 byly odebrány z jihozápadního konce (viz obr 49).



Obr. 49 Znáznornění míst odběrů vzorků B1 – B3 z nosné konstrukce v jihozápadní části.

Vzorky B4 až B6 byly získány z bočních ploch podélných nosníků u jihozápadního konce, vrtány horizontálně.

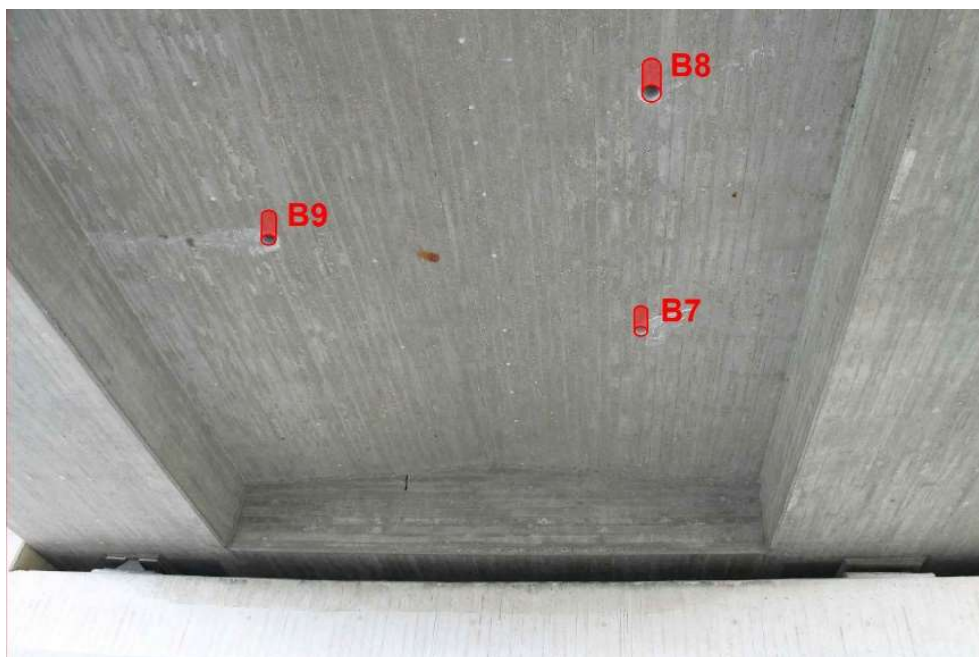


Obr. 50 Pohled na místa odběrů vzorků B3 – B6 z bočních ploch podélných nosníků přibližně 2,5 metru od příčnicku.



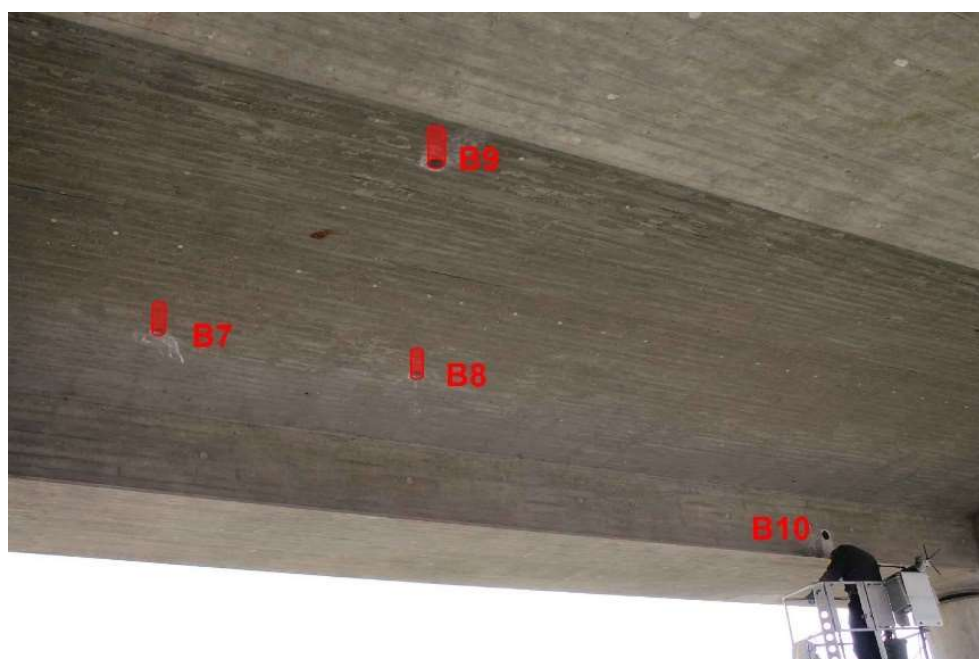
Obr. 5152 Extrakce vývrtu B8. Dosažitelnost míst odběrů byla zajištěna vysokozdviznou plošinou Ruthmann TB 270.

Vzorky B7 až B9 byly vrtány zespodu nosné konstrukce pomocí přídržné konstrukce u severovýchodního konce (viz obr. 53).



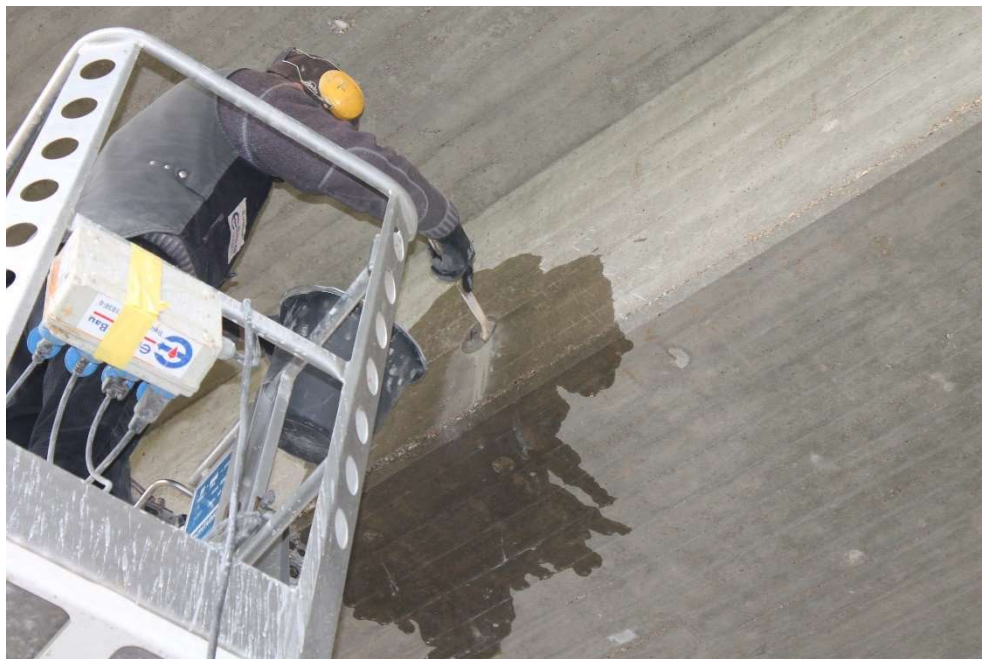
Obr. 53 Znáznornění míst odběrů vzorků B7 – B9 z nosné konstrukce v severovýchodní části.

Vzorky B10 až B13 byly získány z bočních ploch podélných nosníků u severovýchodního konce (vrtány horizontálně).



Obr. 54 Místa odběrů vzorků B7 – B10. Všechny otvory vzniklé extrakcí vzorků byly následně vyplněny směsí pojiva Zentrimix a plniva Nafufill.

Otvory vzniklé odběrem vzorků byly vyplněny směsí pojiva Zentrimix KMH a plniva Nafufill KM 250 připravené na místě.



Obr. 55 Technik při vyplňování otvoru vzniklého vrtáním cementovou směsí.



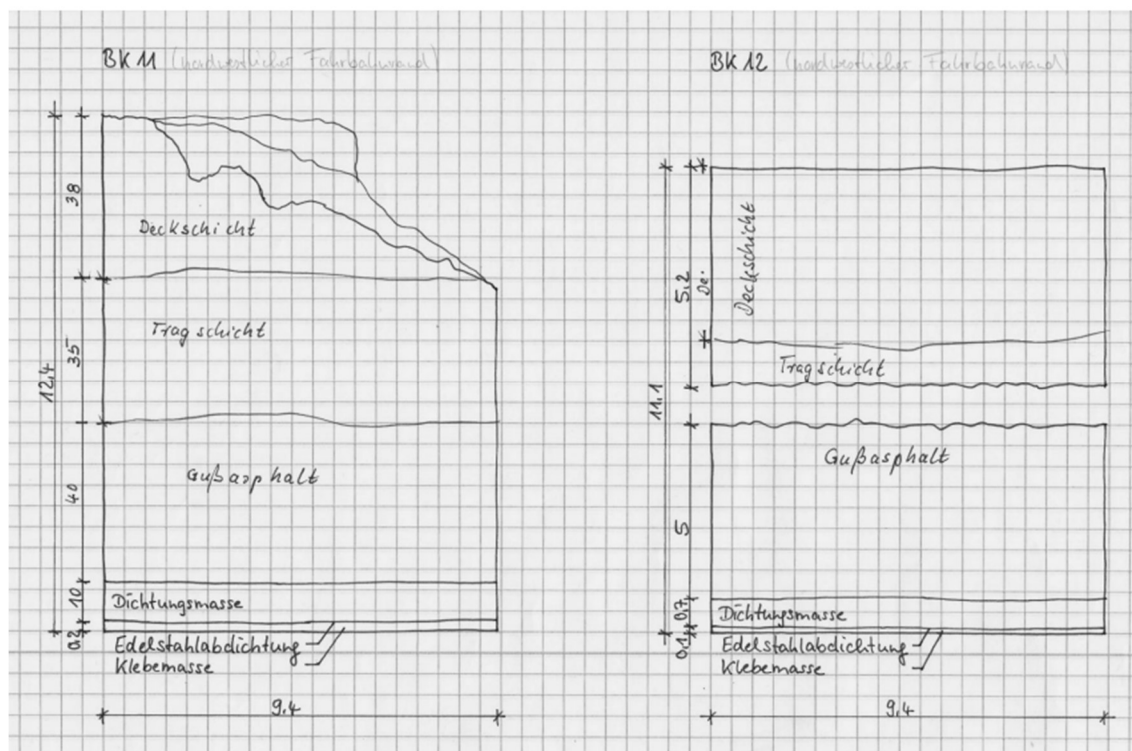
Obr. 56 Otvor po vývrtu B8 vyplněný cementovou směsí.

Pro získané jádrové vývrty z nosné konstrukce byly naplánovány následující zkoušky:

- Vizuální kontrola
- Stanovení pevnosti betonu v tlaku: 6 vzorků
- Stanovení pevnosti v tahu ohybem: 5 vzorků
- Stanovení objemové hmotnosti betonu
- Dále také modul pružnosti, pevnost v prostém tahu a pevnost v příčném tahu

3.4.1 VÝVRTY Z POVRCHU VOZOVKY

Po příjezdu do laboratoře se vzorky z povrchu vozovky očistily a byla vytvořena schémata obsahující jejich rozměry a složení vrstev v měřítku 1:1. Tato schémata v budoucnu slouží jako příloha dokumentace. Dále byla pořízena fotodokumentace všech extrahovaných vzorků.



Obr. 57 Ukázka úpravy schémat vzorků z povrchu vozovky v měřítku 1:1 (vzorky B11 a B12)

Krycí vrstva vozovky se skládá ze šesti vrstev:

- asfaltová krycí vrstva (2,7 až 5 cm)
- podkladová vrstva pro asfalt (1,3 až 4,5 cm)
- mastixová vrstva (1 až 5,5 cm)
- bitumenový pás (0,4 až 1 cm)
- těsnící vrstva (0,1 cm)
- asfaltová adhezivní vrstva (0,1 až 0,5 cm)

Celková tloušťka skladby je 8 až 12,4 cm.



Obr. 58 Znáznornění konstrukčních vrstev vozovky (vývrt A6)

Většinu vývrtů se podařilo odebrat vcelku. U vývrtu A11 se rozrušila část nejsvrchnější vrstvy. U vývrtů A5, A6 a A12 došlo při odběru k oddělení některých vrstev. V případě vývrtu A4, druhá vrstva (od vrchu) částečně erodovala a u vývrtu A5 se částečně rozpadla při vyjímání.



Obr. 59 Vrchní strana vývrtu A1 znečištěná prachem z dopravy.



Obr. 60 Vrchní strana vývrtu A11. Krycí vrstva se částečně rozpadla při extrakci.



Obr. 61 Spodní strana vývrtu A1, vrstva lepidla odděluje ocelové těsnění od betonového povrchu.



Obr. 62 Spodní strana vývrtu A11. Část adhezivní vrstvy se oddělila od těsnicí vrstvy v průběhu extrakce.



Obr. 63 Boční povrch vývrtu A1. Při extrakci nedošlo k oddělení jednotlivých vrstev.



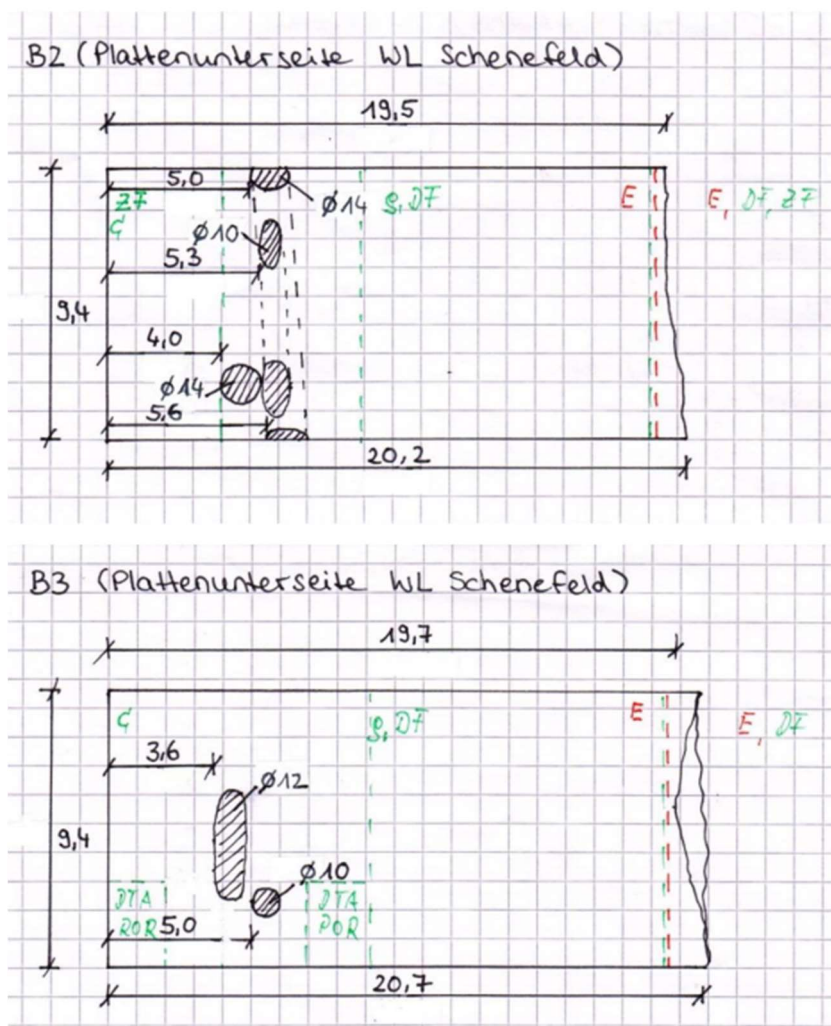
Obr. 64 Boční povrch vývrtu A11. Krycí vrstva se částečně rozpadla při extrakci.

3.4.2 VÝVRTY Z NOSNÉ KONSTRUKCE

Po příjezdu do laboratoře byly betonové vzorky změřeny a byly vytvořena schémata v měřítku 1:1 obsahující jejich rozměry a případnou polohu betonářské výztuže převrtnanou během extrakce.

Dále se zde pomocí barevných čar zaznačila nutná úprava tělesa pro plánované zkoušky, které jsou zaznačeny pomocí písmen (E – modul pružnosti, DF – pevnost v tlaku, ZF – pevnost v prostém tahu, ρ – objemová hmotnost, DTA – diferenční termická analýza atd.). Tato schémata v budoucnu slouží jako příloha dokumentace.

Dále byla pořízena fotodokumentace všech extrahovaných vzorků. Boční povrchy vzorků byly před pořizováním fotografií zvlhčeny tak aby vynikla struktura směsi.



Obr. 65 Ukázka úpravy schémat vzorků včetně polohy a průměru zachycené výztuže v měřítku 1:1; barevné čáry pak znázorňují potřebnou úpravu vzorků pro provedení daných zkoušek, které jsou označeny písmeny.

Z vizuální prohlídky vzorků z nosné konstrukce vyplývá:

U vývrtů z desky je stejné složení a struktura betonu jako u vývrtů z podélných nosníků. Konstrukční beton má dobrou strukturu zrna (maximální velikost zrna je přibližně 32 mm) a má tedy dostatečné proporce složek, aby dosáhl potřebné pevnosti. S výjimkou vývrtu B5, u kterého došlo k odlomení, byly všechny vývrty odebrány vcelku.



Obr. 66 Boční povrch vzorku B1 s viditelnou betonářskou výztuží zachycenou při vrtání.



Obr. 67 Čelní plocha vývrtu B1. Na povrchu jsou zřetelné stopy po bednění. Beton prozatím nejeví znaky degradace.



Obr. 68 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B1. Zlom je relativně hladký, což naznačuje vyšší kvalitu betonu.



Obr. 69 Boční plocha vývrtu B7. V řezu je zřetelně vidět distanční těleso pod konstrukční výztuží.



Obr. 70 Čelní plocha vývrtu B7. Na povrchu jsou zřetelné stopy po bednění. Beton prozatím nejeví znaky degradace.



Obr. 71 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B7. Lom nastal v oblasti, kde probíhá výztuž.



Obr. 72 Boční plocha vývrtu B9 s viditelnou betonářskou výztuží zachycenou při vrtání.



Obr. 73 Čelní plocha vývrtu B9. Na povrchu jsou zřetelné stopy po bednění. Beton prozatím nejeví znaky degradace.



Obr. 74 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B9. Zlom nastal v dutině pod výztuží, kde nebyl beton dostatečně zhutněn.

Beton byl důkladně zhutněn, což dokazuje relativně malé množství velkých pórů, kavern či dutin. Beton ovšem obsahuje relativně hodně jemných pórů, které jsou způsobeny zachyceným vzduchem v průběhu zhutňování (viz obrázky vývrtů).

Hrubé kamenivo je především typu Moränekies, které je pro severní Německo typické. Plochy vzniklé vrtáním vývrtů jsou hladké po všech stranách, což naznačuje vysokou kvalitu betonu. Spodní strany vzorků mají špičatý povrch. Povrchy jsou pevné a nedrobí se.

3.4.3 KRYCÍ VRSTVA BETONU A STAV VÝZTUŽE

Krytí výztuže bylo změřeno a zaznamenáno do následující tabulky.

Tab. 5 Betonové krytí výztuže u jednotlivých vzorků jádrových vývrtů.

Vzorek	Krytí [mm]
B1	56
B2	40
B3	36
B4	34
B5	31
B6	36
B7	40

Vzorek	Krytí [mm]
B8	54
B9	32
B10	36
B11	40
B12	26
B13	42

Na výztuži, která je vidět v řezech je koroze jen málo rozšířena. Stav ocelového povrchu odpovídá stavu při instalaci. Čerstvě řezané plochy výztuže mají kovový lesk s pouze minimálními znaky koroze. Z toho lze usoudit, že beton neobsahuje vodou rozpustné chloridy, které by i za krátkou dobu po odběru narušili pasivační vrstvu na oceli a způsobily korozi. [30]



Obr. 75 Míra koroze čerstvě řezaných ploch výztuže je velmi malá (jádrový vývrt B13).



Obr. 76 Krytí výztuže bylo zajištěno distančními tělesy, jak je patrné z vývrtu B10.

3.5 ZKOUŠKY JÁDROVÝCH VÝVRTŮ

3.5.1 STANOVENÍ STATICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI

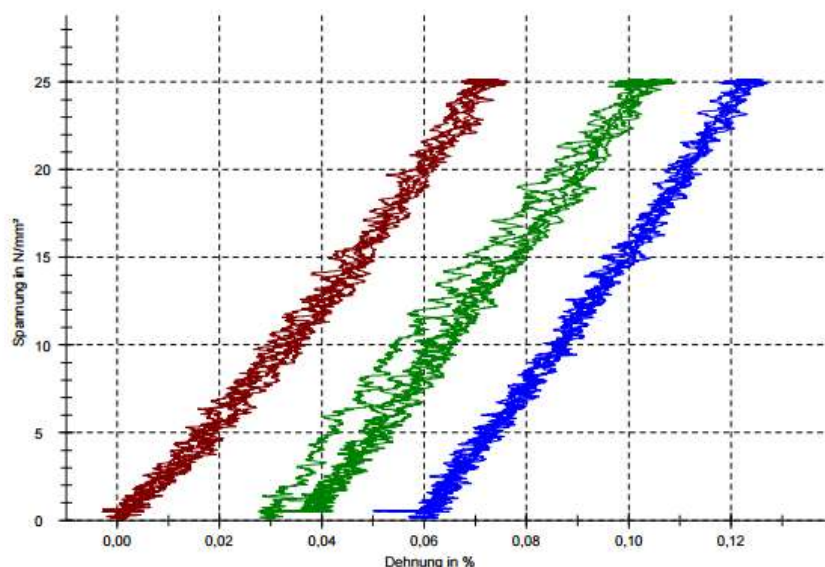
Pro stanovení modulu pružnosti byly použity vývrty B1, B2, B3, B8, B9 a B10, zkrácené na 120 až 150 mm. Potom byly zabroušeny a bylo provedeno měření dle DIN EN 13412 [31].

Na jednotlivé vzorky bylo uchyceno snímací zařízení poté se vzorky přemístili do zkušebního lisu a byly zatěžovány až na horní hranici napětí o hodnotě $\sigma_o = 25 \text{ N/mm}^2$, následovalo odlehčení až na dolní hranici napětí $\sigma_u = 0,5 \text{ N/mm}^2$. Celkem proběhly tři zatěžovací cykly. Nakonec byl z příslušné křivky odečten sečný modul pružnosti.

Ergebnisse:

Legende	Nr	Durchmesser d0 mm	F max kN	E-Modul N/mm ²	Bemerkung	ε_o %	ε_u %
	3	94	174,37	34742,958	B1	0,071	0,001
	4	94	174,32	36391,117	B2	0,075	0,008
	6	94	174,33	39020,186	B3	0,063	0,000

Seriengrafik:



Obr. 77 Modul pružnosti; znázornění závislosti napětí v N/mm^2 na deformaci v % pro vzorky B1, B2, B3. Zarážející je, že pouze vzorek B3 (modré křivky) má zde lineární nárůst ve třetím zatěžovacím cyklu.

Pouze u vzorku B3 byl naměřen modul pružnosti $39\,020 \text{ N/mm}^2$, což přibližně odpovídá očekávané hodnotě pevnosti betonu cca $80\,000 \text{ N/mm}^2$. Pro tuto pevnost by se měla hodnota modulu pružnosti pohybovat v rozmezí $40\,000$ – $45\,000 \text{ N/mm}^2$. U ostatních vzorků se hodnota modulu pružnosti pohybovala v rozmezí $31\,065$ – $36\,391 \text{ N/mm}^2$. Soudě podle uvažované pevnosti v tlaku se tyto hodnoty jeví jako příliš nízké.

Po důkladném přezkoumání grafu je zarážející, že pouze vzorek B3 má lineární nárůst křivek ve třetím zatěžovacím cyklu, kde je obvykle odečtena hodnota sečného modulu. Ostatní vzorky vykazují v nízkém tlaku plochý nárůst, který se postupně zvyšuje s přibývajícím napětím. Tento průběh je typický pro beton s mikroskopickým poškozením (což ovšem nemusí mít vliv na pevnost betonu v tlaku). Tato situace mohla být ovlivněna podélným předpětím v betonové desce a kolmým testováním vzorků. [32]

Pro získání hodnoty modulu pružnosti, která by lépe reprezentovala skutečnou hodnotu deformace betonu, tedy kolmo na testovanou orientaci vzorků, byl modul pružnosti odečten z grafu jako modul tečný. Hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tab. 6 Hodnoty statických modulů pružnosti jednotlivých vzorků

Označení tělesa	Modul pružnosti [N/mm ²]
B1	42 500
B2	40 300
B3	42 500
B8	41 900
B9	37 500
B10	38 200
Ø	40 500

3.5.2 PEVNOST V TLAKU A OBJEMOVÁ HMOTNOST

Nejprve byly vzorky ořezány na požadovanou délku a styčné plochy byly zabroušeny. Následně byly vzorky usušeny v laboratorním klimatu, zváženy a změřeny. Z těchto údajů byly vypočteny odpovídající objemové hmotnosti. Poté se tělesa umístila do zkušebního lisu, kde proběhla zatěžovací zkouška dle DIN EN 196-1 Druckfestigkeit [33].

Tab. 7 Pevnost v tlaku tělesa a objemová hmotnost.








Označení tělesa	Průměr d [mm]	Délka L [mm]	Hmotnost m _r [g]	Objem. hm. D _r * [kg/m ³]	Max. síla F [kN]
B1	94	101	1653	2358	607,54
B2	94	98	1617	2378	557,38
B3	94	103	1688	2361	606,34
B4	94	95	1607	2437	536,98
B7	94	95	1657	2513	607,67
B8	94	101	1692	2414	562,87
B9	94	99	1584	2305	489,49

* objemová hmotnost betonu včetně ocelové výztuže ve vývrtech

Tab. 8 Přepočet na krychelnou pevnost v tlaku.

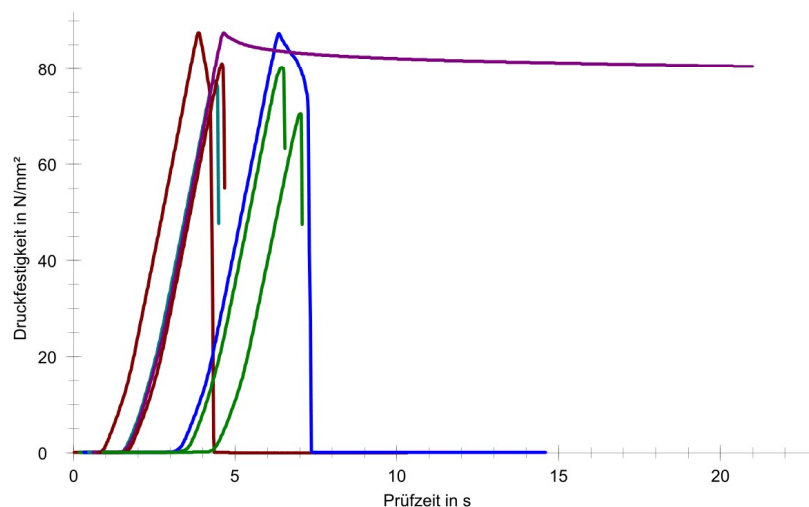
Štíhlost λ	Koef. $\kappa_{c,cyl}$ štíhlosti	Koef. $\kappa_{c,cube}$ průměru	Pevnost $f_{c,cyl}$ [MPa]	Koef. $\kappa_{cyl,cube}$	Pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
1,07	0,87	0,95	72,22	1,19	86,13
1,04	0,86	0,95	65,60	1,20	78,70
1,10	0,88	0,95	72,52	1,19	86,46
1,01	0,85	0,95	62,45	1,20	75,15
1,01	0,85	0,95	70,68	1,19	84,40
1,07	0,87	0,95	66,91	1,20	80,19
1,05	0,87	0,95	57,81	1,21	69,86

Ergebnisse:

Legende	Nr	A mm ²	Druckfestigkeit N/mm ²	F-Max kN	Bemerkung
	1	6940	87,54	607,54	Bohrkern 1
	2	6940	80,32	557,38	Bohrkern 2
	3	6940	87,37	606,34	Bohrkern 3
	4	6940	77,38	536,98	Bohrkern 4
	5	6940	87,56	607,67	Bohrkern 7
	6	6940	81,11	562,87	Bohrkern 8
	7	6940	70,53	489,49	Bohrkern 9

Text

Seriengrafik:



Obr. 78 Pevnost v tlaku; závislost zatížení v MPa na čase v sekundách, měřeno ve zkušebním lisu.

Tab. 9 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku podle vztahů z přepočtové směrnice [8].

Veličina	jednotka	hodnota
Střední hodnota pevnosti m_x	[MPa]	80,13
Výběrová směrodatná odchylka s_x	[MPa]	6,15
Variační součinitel $V_x = s_x/m_x$	[MPa]	0,08
Součinitel odhadu 5% kvantilu k_n		2,18
Charakteristická pevnost $X_k = m_x (1 - k_n \cdot V_x)$	[MPa]	66,73
Pevnostní třída podle EN 206		C60/75

Podle DIN EN 13791 byly získány následující hodnoty:

Tab. 10 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku dle DIN 13791 [34].

Veličina	jednotka	hodnota
Střední hodnota pevnosti $f_{m(n),is}$	[MPa]	80,13
Minimální hodnota pevnosti $f_{is,nejmenší}$	[MPa]	69,86
Krajní mez pro $n =$ vzorků k	[MPa]	6
Charakteristická pevnost $f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k$	[MPa]	74,13
Charakteristická pevnost $f_{is,nejmenší} + 4$	[MPa]	73,86
Pevnostní třída podle EN 206		C70/85

Dle naměřených hodnot byla charakteristická pevnostní třída určena jako C70/85 (dle mírnější DIN 13791). Ovšem podle předepsaných pravidel přepočtové směrnice byla charakteristická pevnostní třída betonu v tlaku určena, v souladu s DIN 206-1, jako C60/75.

3.5.3 HLOUBKA KARBONATACE

Pro stanovení hloubky karbonatce byly povrchy, které byly řezané nebo odštípnuté nastříkané roztokem fenolftaleinu. Hloubka karbonatce byla určena z rozsahu, kde se barva vzorku změnila na červenofialovou. Naměřené hodnoty jsou v následující tabulce.

Tab. 11 Přehled vzorků a jejich hloubky karbonatce.

Vzorek	Hloubka karbonatce [mm]	Vzorek	Hloubka karbonatce [mm]
B1	0–1	B8	0–1
B2	0–1	B9	0–1
B3	0–1	B11	0–1
B4	0–1	B12	1–2
B5	1–4	B13	0–1
B6	2–4	Ø	0,3 mm - 1,6 mm
B7	0–1		



Obr. 79 Čerstvě řezané plochy vzorku B2 po postřiku roztoku fenolftaleinu. Hloubka karbonatce je zde 0–1 mm.



Obr. 80 Čerstvá lomová plocha vzorku B6. Hloubka karbonatce je zde 2–4 mm.

3.5.4 PEVNOST V TAHU OHYBEM

Pro určení pevnosti v ohybu byly použity vzorky B10, B11 a B12 upravené do tvaru kvádrů o rozměrech 50x50x250 mm.

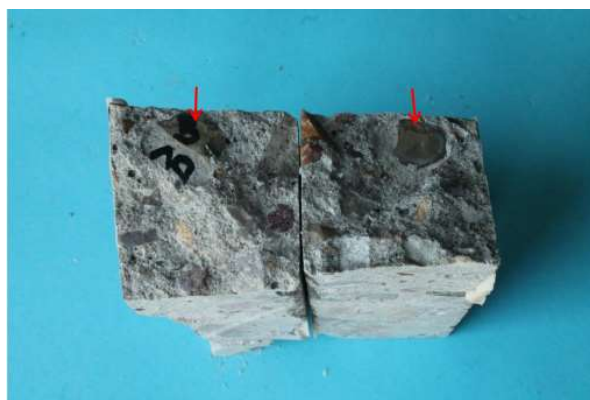
Vzorky byly testovány 3 bodovým ohybem (vzdálenost podpor 150 mm). Pro tento účel se musely některé opěrné plochy vyrovnat pomocí rychle tuhnoucího plastického lepidla. Po dostatečném vytvrzení lepidla byly provedeny zkoušky ve zkušebním lisu dle DIN EN 196-1 Biegezug [33]. Výsledky testů jsou v následující tabulce.

Tab. 12 Výsledná pevnost v tahu ohybem včetně uvedení způsobu porušení.

Vzorek	Pevnost v tahu ohybem [N/mm ²]	Způsob porušení
B10	4,00	Porušení nastalo u zrn kameniva s nízkou pevností v tahu
B11	5,79	Běžné porušení
B12	6,42	Běžné porušení
Ø	5,40	



Obr. 81 Vzorek B10 upravený do rozměrů 50x50x250 mm po provedení zkoušky.

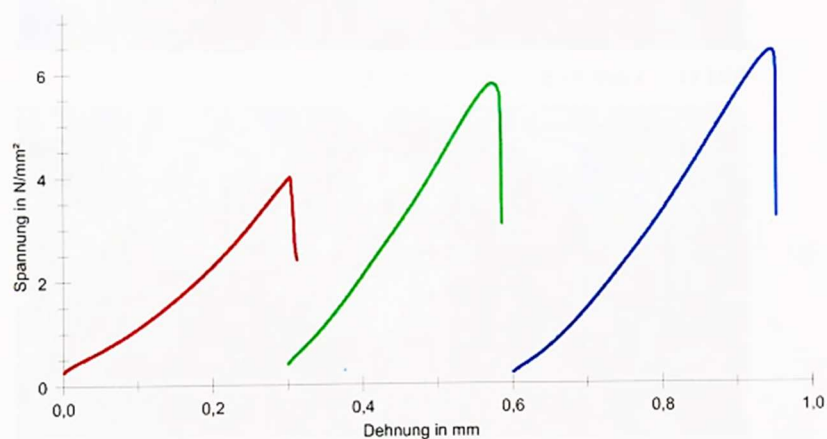


Obr. 82 Lomová plocha vzorku B10 byla oslabena zrnem s nízkou pevností v tahu.

Ergebnisse:

Legende	Nr	A mm ²	Biegezugfestigkeit N/mm ²	FMax kN	Bemerkung
■	1	2500	4,00	2,22	B 10
■	2	2500	5,79	3,22	B 11
■	3	2500	6,42	3,57	B 12

Seriengrafik:



Obr. 83 Pevnost v tahu ohybem; závislost napětí v N/mm² na deformaci v mm; měřeno ve zkušebním lisu 3 bodovým ohybem.

3.5.5 PEVNOST V PŘÍČNÉM TAHU

Pro stanovení pevnosti v příčném tahu byly vzorky B5, B6 a B13 zkráceny na délku přibližně 100 mm. Poté se vzorky umístily do zkušebního lisu, kde byly provedeny zkoušky dle DIN EN 12390-6 Spaltzugfestigkeit [35].

Tab. 13 Hodnoty pevnosti vzorků v příčném tahu.

Vzorek	Výška [mm]	Průměr [mm]	F _{max} [kN]	Pevnost v příčném tahu [N/mm ²]
B5	102	94	53,81	3,57
B6	102	94	56,70	3,76
B13	97	94	64,94	4,53
Ø				3,95

Vyhodnocení dle EN 12390-6 [35]:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} = \frac{2 \cdot 64940}{\pi \cdot 97 \cdot 94} = 4,53 \text{ N/mm}^2$$



Obr. 84 Lomová plocha vzniklá testováním vzorku B6 v příčném tahu. Zlom probíhá poměrně hladce jak kamenivem, tak maltou.

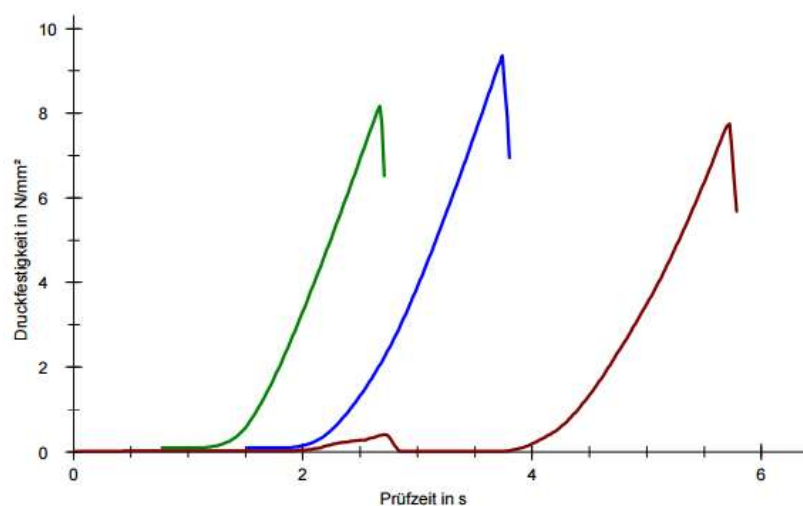
Ergebnisse:

Legende	Nr	A mm ²	F-Max kN	Bemerkung
■	1	6940	53,81	Bohrkern 5
■	2	6940	56,70	Bohrkern 6
■	3	6940	64,94	Bohrkern 13

Statistik:

Serie n = 3	A mm ²	Druckfestigkeit N/mm ²
x	6940	8,43
s	0,000	0,83
v	0,00	9,87

Seriengrafik:



Obr. 85 Pevnost v příčném tahu; závislost na napětí v N/mm² a čase v sekundách; měřeno ve zkušebním lisu.

3.5.6 PEVNOST V PROSTÉM TAHU

Délka vývrtů B1, B2, B8, B11 a B13 byla patřičně upravena pro určení pevnosti v tahu. Na čerstvě seřezané plochy vývrtu pak byly nalepeny ocelové desky. Po vytvrzení lepidla se vzorky umístily do zkušebního lisu a provedlo se testování dle DIN EN 196-1 Zugfestigkeit [33].

Tab. 14 Pevnost vzorků v prostém tahu včetně způsobu porušení.

Vzorek	Pevnost v prostém tahu [N/mm ²]	Způsob porušení
B1	3,48	100% porušení soudržnosti betonu v 5 - 20mm hloubce
B2	3,10	100% porušení soudržnosti betonu v 20 - 30mm hloubce (obr. XX)
B8	2,65	100% porušení soudržnosti betonu v 10 - 20mm hloubce
B11	2,98	75% porušení soudržnosti betonu v 0 - 10mm hloubce, zbylých 25 % není vazba mezi lepidlem a povrchem betonu (obr. XX)
B13	2,33	95% porušení soudržnosti betonu v 25 - 30mm hloubce, zbylých 5 % není vazba mezi lepidlem a povrchem betonu
Ø	2,91	Pouze vzorky se 100% porušením



Obr. 86 Lomová plocha vzorku B2 vzniklá zkouškou v prostém tahu.



Obr. 87 Lomová plocha vzorku B11 vzniklá zkouškou v prostém tahu. Porušení soudržnosti betonu na 75 % plochy vzorku. Na zbylých 25 % plochy není vazba mezi lepidlem a betonem.

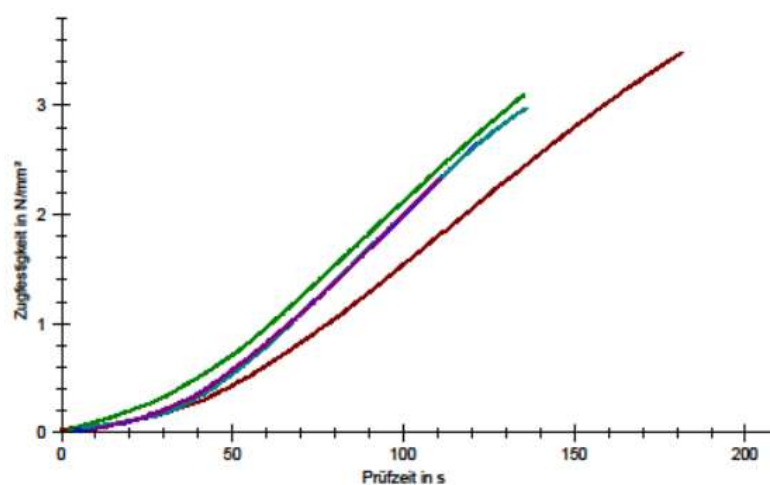
Ergebnisse:

Legende	Nr	S0 mm ²	Fmax kN	Zugfestigkeit N/mm ²	Bemerkung
■	1	6940	24,18	3,48	B1
■	2	6940	21,48	3,10	B2
■	3	6940	18,37	2,65	B8
■	4	6940	20,66	2,98	B11
■	5	6940	16,18	2,33	B13

Statistik:

Serie n = 5	Fmax kN	Zugfestigkeit N/mm ²
\bar{x}	20,17	2,91
s	3,06	0,44
v	15,13	15,13

Seriengrafik:



Obr. 88 Pevnost v prostém tahu; závislost napětí v N/mm² na čase v sekundách; měřeno ve zkušebním lisu po nalepení vzorků na ocelové desky.

3.5.7 TERMICKÁ ANALÝZA

Analýza byla provedena v termickém analyzátoru, který umožňuje simultánní měření dvou veličin:

- diferenční termická analýza (DTA) hodnotí rozdíl teploty mezi zkoušeným a referenčním vzorkem
- termogravimetrická analýza (TG) sleduje změny hmotnosti zkoumaného vzorku

Použitý termický analyzátor používá platinové kelímky (do 1 000 °C s objemem 110 µL) kam je umístěn zkoušený a referenční vzorek. Směr proudění plynu přes pec termického analyzátoru je horizontální, čímž jsou účinně odstraněny produkty rozkladu v oblasti vzorků.

Pro stanovení minerálního složení betonu byla použita diferenční termická analýza. Materiál k testování byl odebrán přibližně uprostřed délky, tedy z hmoty vzorků B3 a B9 (v grafu označené jako „3“ a „9“) a pro srovnání také z míst blízko povrchu též vzorků (v grafu označené jako „B3“ a „B9“).

Vzorky z jádrových vývrtů pořízených na mostní konstrukci a inertní vzorek byly podrobeny termické analýze, kde byly vystaveny teplotě až 1000 °C, přičemž došlo k úbytku hmotnosti. Úbytek hmotnosti v závislosti na teplotě je uveden v tab. 15. [36]

Tab. 15 Teplotní rozmezí úbytku hmotnosti betonu. [36]

Teplota výpalu [°C]	Příčina úbytku hmotnosti
cca 100	ztráta volné vody
cca 130	ztráta fyzikálně vázané vody
425-550	dehydratace Ca(OH)_2
550-1000	rozklad CaCO_3

Průběh diferenční termické analýzy je zachycen v termogramu. Jednotlivé křivky zde představují:

- úbytek hmotnosti (plná křivka)
- diferencovaný úbytek hmotnosti (DTG tečkovaná křivka)
- křivka DTA (přerušovaná křivka) představuje rozdíl teplot mezi vzorkem a inertním materiálem během ohřevu

Dle závěrů profesora Diederichse [32] lze z křivek termogramů vyvodit následující:

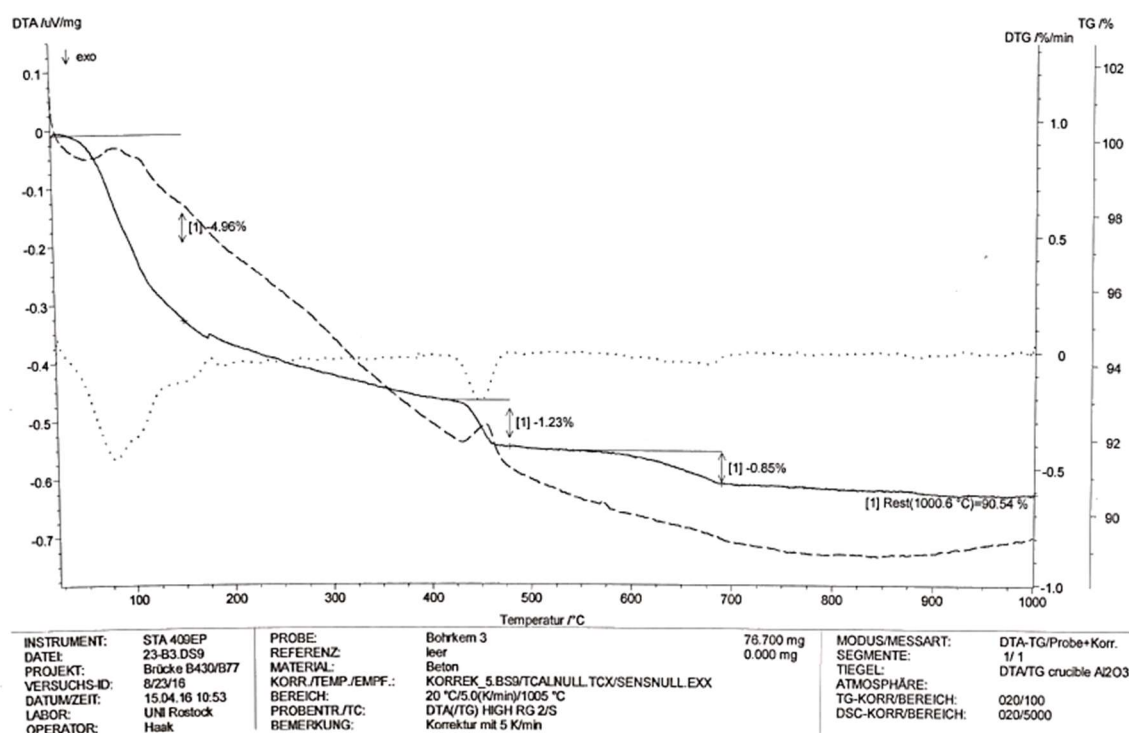
Pro vzorky 3 a 9

Z průběhu křivek a tvaru píků v termogramech vzorků 3 a 9 odebraných z hmoty jádrového vývrtu lze učinit závěr, že beton obsahuje křemičitý písek, je zhotoven s použitím portlandského cementu a má vysoký stupeň hydratace.

Pro vzorky BK3 a BK9

Z průběhu křivek a tvaru píků v termogramech vzorků „BK3“ a „BK9“ odebraných blízko povrchu, kde došlo v malé míře ke karbonataci, lze říci, že mají také, jako vzorky odebrané z hmoty vývrtů, vysoký stupeň hydratace. V případě vzorku BK3 se část potlanditu přeměnila na CaCO_3 vlivem karbonatace. U vzorku BK9 je tento podíl výrazně nižší.

Diferenční termická analýza tedy prokázala, že minerální složení betonu obsahuje vazbu typickou pro portlandský cement.



Obr. 89 Ukázka termogramu vzorku 3; přerušovaná křivka představuje DTA (rozdíl teplot mezi vzorkem a inertním materiálem během ohřevu), plná křivka úbytek hmotnosti a tečkovaná křivka DTG (diferencovaný úbytek hmotnosti).

3.6 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ DOSAŽENÝCH V PRAKTICKÉ ČÁSTI

Předmětem praktické části bakalářské práce byla prohlídka a diagnostika mostní konstrukce nacházející se ve Spolkové republice Německo. Pro účely porovnání postupu prohlídky a následné diagnostiky s metodikou prováděnou v České republice byla poskytnuta společností Mostní vývoj závěrečná zpráva z diagnostického průzkumu adekvátního mostu na území ČR, na jejímž základě bylo možné poměry v obou zemích porovnat.

Jako adekvátní most pro porovnání byla vybrána konstrukce nacházející se v Brně, katastrální území Starý Lískovec. Jedná se o deskový most z prefabrikovaných železobetonových truhlíkových nosníků a skrytých příčníků o 4 polích. Do textu pak byla jako první zařazena prohlídka a dokumentace poruch mostu v České republice následovaná prohlídkou a dokumentací poruch mostu v Německu tak, aby mohl čtenář snadno porovnat odlišnosti v obou zemích.

Primární náplní praktické části byl tedy diagnostický průzkum mostní konstrukce alokované v německé obci Hohenwestedt. Jedná se o trámový most o 3 polích z předpjatého betonu, délky přibližně 47 metrů a šířky 14 metrů, který byl vybudován v roce 1982. Most byl podroben statickým přepočtům podle prvního a druhého stupně přepočtové směrnice tzv. Nachrechnungsrichtlinie. Přepočet ovšem v obou případech odhalil nedostatky a bylo potřeba získat skutečná data z konstrukce.

Nejprve byla provedena prohlídka konstrukce a zdokumentovaly se poruchy. Celkový stav mostu byl vyhodnocen jako velmi dobrý. Jako diagnostická metoda byla vybrána metoda jádrových vývrtů. Bylo odebráno celkem 12 jádrových vývrtů z povrchu vozovky pro zjištění složení a tloušťky jednotlivých vrstev. Dále bylo odebráno 13 jádrových vývrtů z nosné konstrukce. Ačkoliv plánovaný průměr vývrtů byl 100 mm, vrták použitý na místě měl průměr 94 mm, což muselo být zohledněno při vyhodnocování výsledků.

Jádrové vývrty z nosné konstrukce byly podrobeny vizuální kontrole a následujícím laboratorním zkouškám: stanovení statického modulu pružnosti, stanovení pevnost v tlaku a objemové hmotnosti, stanovení hloubky karbonatace, stanovení pevnosti v tahu ohybem, stanovení pevnosti v příčném tahu, stanovení pevnosti v prostém tahu, termická analýza.

Výsledky zkoušky statické modulu pružnosti byl po prozkoumání grafu přepočítán ze sečného na tečný. Hodnoty statického modulu pružnosti se pohybovaly od 37 500 MPa do 42 500 MPa, tedy průměrně 40 500 MPa.

Střední hodnota naměřené pevnosti v tlaku byla 80,13 MPa a objemová hmotnost betonu průměrně 2350 kg/m³, nutno však podotknout, že tato hodnota je včetně výztuže, která byla zachycena při vrtání. Dle naměřených hodnot byla charakteristická hodnota třídy pevnosti betonu určena na C70/85 (nebo alespoň podle DIN 1945). Podle podmínek přepočtové směrnice byla charakteristická pevnostní třída betonu určena jako C60/75 v souladu s DIN EN 206-1.

Hloubka karbonatace byla naměřena maximálně 1 až 4 mm, což je očekávaná hodnota pro 34 let starou konstrukci této kvality. Na třech vzorcích byl stanovena pevnost v příčném tahu v rozmezí hodnot od 3,57 do 4,53 MPa, v průměru 3,95 MPa. Dále bylo pět vzorků testováno na pevnost v prostém tahu. Rozmezí hodnot bylo 2,33 až 3,48 MPa a v průměru 2,91 MPa.

Pevnost v tahu ohybem byla testována na trámčích o velikosti 50×50×250 mm tříbodovým ohybem. Hodnoty pevnosti byly naměřeny 4,00, 5,79 a 6,42 MPa. Termická analýza ukázala, že beton má typické složení betonu na bázi portlandského cementu. S ohledem na životnost je nutno poznamenat, že krytí výztuže zachycené ve vývrtech je podstatně větší než 30 mm a trvale tak chrání výztuž proti korozi. Beton je také dostatečně těsný a má dostatečný obsah Ca(OH)₂ (alkalita).

Pokud bychom měli zhodnotit počínání při postupu prohlídky a následné diagnostiky je zarážející, že nebyly použity žádné metody pro zjišťování výztuže před vrtáním vzorků z nosné konstrukce, což vedlo k zachycení poměrně velkého množství měkké betonářské výztuže. Obsažená výztuž ve vývrtech zkreslila vypočítanou objemovou hmotnost betonu a mohla také ovlivnit výsledky provedených zkoušek.

V České republice je tendence se maximálně vyvarovat převrtání jakékoliv výztuže při získávání jádrových vývrtů (pokud je to možné). Proto jsou hojně používány metody k jejímu zjištění například radar Hilti, Ferroscan 250, Proceq a další.

Jelikož vyšetřovaný most byl ve velmi dobrém stavu je těžké porovnat úroveň a rozsah dokumentace poruch. V našem případě byly problémy pouze s lokálním výskytem koroze výztuže způsobený jejím nedostatečným krytím nebo korozí odvodňovacího systému. Tyto vady byly vyfotografovány a zaneseny do dokumentace. V případě mostu Jihlavská přes Bítešskou v brněnském Starém Lískovci byl postup prohlídky a dokumentace poruch prakticky stejný, pouze vzhledem ke špatnému až velmi špatnému stavu mostu byla dokumentace rozšířena, aby věrně zachytila všechny problematické části konstrukce.

Vzorky byly po vyvrtání pečlivě ručně zakresleny v měřítku 1:1 na čtverečkový papír a tyto výkresy byly zařazeny do finální dokumentace. V ČR bychom pravděpodobně provedli pouze skici vývrtů, které bychom následně rozkreslili v počítačovém programu, což možná nemusí být tak efektivní.

Pokud se zaměříme na zkoušky jádrových vývrtů jsou zde jisté nesrovnalosti s českými normami. Zejména se jedná o rozměry zkušebních těles. Například u měření statického modulu pružnosti neodpovídá zkušební rozměr tělesa jak německým, tak českým požadavkům daných příslušnou normou. Obecně se dá říci, že v ČR je více rozšířené měření ultrazvukovou nebo rezonanční metodou čili měření dynamického modulu pružnosti.

U zkoušky pevnosti v tahu ohybem je závažnější hlavně povrch trámečků. Nerovnosti zde byly vyrovnány pomocí rychle tuhnoucího plastického lepidla. Do jaké míry zde úprava těles ovlivnila výsledky zkoušek je otázka spekulací. Zkouška v prostém tahu probíhala na tělesech velmi malé výšky, což do značné míry mohlo také ovlivnit výsledky měření.

Ze závěrečné zprávy z diagnostického průzkumu mostu Jihlavská přes Bítešskou vyplývá, že zde byl použit tvrdoměr Schmidt N s upřesněním na jádrových vývrtech pro získání pevnosti betonu v tlaku. Vzniká zde tedy velký nepoměr mezi množstvím zkoušek vykonaných na jádrových vývrtech u nás a v Německu.

V porovnání s českými zvyklostmi by se ovšem daly některé zkoušky provedené na jádrových vývrtech označit spíše jako doplňkové např. zkouška pevnosti v tahu ohybem nebo zkouška v prostém tahu, protože výsledky neměly zásadní vliv na celkový posudek. Rozsah a typ zkoušek ovšem do značné míry ovlivňuje také přání investora, které je nutno respektovat.

4 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byla ve své teoretické části rešerše literatury, předpisů a norem týkajících se hodnocení mostů. Dále porovnání mostního názvosloví, způsobu evidence a prohlídek mostů pozemních komunikací v České republice a Spolkové republice Německo. Ze zpracování vyplynulo, že některé jmenované aspekty si částečně odpovídají a některé se částečně nebo více liší.

Zatímco například ve Spolkové republice Německo spadá správa dopravní sítě pod spolkovou vládu potažmo pod spolkové úřady, které také disponují databází mostních listů a dalších evidenčních dokumentů, v České republice, pravděpodobně z důvodu rozlohy a hustoty dopravní sítě, je centrální orgán, Ředitelství silnic a dálnic, který má na starosti zejména dálnice a silnice I. třídy. Ostatní kategorie komunikací pak spadají do správy krajů a obcí.

V České republice také existuje geoportál Ředitelství silnic a dálnic, který obsahuje mapové podklady s číslováním mostů. Dále také systém hospodaření s mosty BMS, kde je zaevidováno více než 400 tisíc objektů (mostů, propustků, opěrných zdí atd.) a je zde možné podle čísla komunikace dohledat veškeré dostupné informace o mostní konstrukci. Existenci německé alternativy na celostátní úrovni se nepodařilo prokázat. Jsou zde pouze lokální databáze s omezeným množstvím informací nebo zaměřením jen na konkrétní typy mostů.

Pravděpodobně nejzásadnější rozdíl mezi oběma zeměmi je stav mostů, což vyplývá z teoretické i praktické části. V České republice je poměrně velké procento mostů spadajících do kategorie „špatný“ a „velmi špatný“. V Německu také přibývá mostů s tímto hodnocením, ale v menším měřítku a je zde také dlouhodobý program, který situaci mostů v horším stavu řeší. Situaci dobře reflektuje také stav dvou sledovaných objektů z praktické části bakalářské práce, kdy most v Německu měl minimum viditelných poruch a rovněž kvalita betonu byla velmi vysoká, zatímco most v Česku byl ve špatném stavu a pevnosti betonu byly velmi nízké.

Stav mostů také do značné míry ovlivněn množstvím financí investovaných do jejich rozvoje a údržby. Zatímco v bývalém Východním Německu byl rozvoj a údržba financována bohatší západní částí tak, aby došlo ke sjednocení v České republice je údržba mostů dlouhodobě podfinancovaná, což se odráží na jejich stavu.

CITOVANÁ LITERATURA

- [1] Přehledy z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR: stav k 1.1.2017. In: *Ředitelství silnic a dálnic* [online]. Praha: ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR ODBOR SILNIČNÍ DATABANKY A NDIC, 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.rsd.cz/wps/wcm/connect/d4f00eed-e6d7-4488-bac4-233113763473/prehledy_cr.pdf?MOD=AJPERES
- [2] Transport – Roads of other than local transport. In: *STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER* [online]. Deutschland: Federal Statistical Office and the statistical Offices of the Länder, 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/en/en_jb16_jahrtab36.asp
- [3] *Brückenmodernisierung im Bereich der Bundesfernstraßen*. In: . Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2015.
- [4] *Bauwerksprüfung nach DIN 1076 Bedeutung, Organisation, Kosten*. In: . Berlín: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Invalidenstraße 44, 2013. Dostupné také z: <http://www.bmvi.de>
- [5] FISCHER, Oliver. Prestressed Concrete Bridges in Germany – Overview of Current New Structures, Re-analysis and Research Activities to Preserve the Existing Infrastructure Network. *Procedia Engineering* [online]. Elsevier, 2016, **2016**(-), 103-108 [cit. 2017-05-10]. ISSN 1877-7058. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816324419>
- [6] The Development of the Prestressed Concrete Bridge in Germany after World War II. PELKE, Eberhard. *Proceedings of the Second International Congress on Construction History [Volume 3]*. 1st. Exeter, United Kingdom: Short Run Press, 2006, s. 2469-2492. ISBN 0701702052.
- [7] Sanace silničních mostů v SRN - nová metodika a předpis na statické přepočty. *RIB stavební software s.r.o.* [online]. b.r. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://rib.cz/ponti-nrr.htm>
- [8] *Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden: (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion)*. 06/2011. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011.
- [9] MENŠÍK, František a Hana DUŠKOVÁ. Stav silničních a dálničních mostů ČR. In: *Časopis stavebnictví* [online]. Brno: EXPO DATA spol. s r.o., 2009 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/stav-silnicnich-a-dalnicnich-mostu-cr_N346

- [10] A brief introduction to standards. *DIN* [online]. Berlin, 2017 [cit. 2017-05-20].
Dostupné z: <http://www.din.de/en/about-standards/a-brief-introduction-to-standards>
- [11] *DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen*. 1999-11. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
- [12] *Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauten: RI-ERH-ING*. 1. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013.
- [13] *Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076: (RI-EBW-PRÜF)*. 2013. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013.
- [14] *Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse: OSA*. Ausgabe 2004. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2004.
- [15] *Anweisung Straßeninformationsbank, Teilsystem Bauwerksdaten: (ASB-ING)*. Ausgabe 2008. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2008.
- [16] *Richtlinien für die bauliche Durchbildung und Ausstattung von Brücken zur Überwachung, Prüfung und Erhaltung: (RBA-BRÜ)*. Ausgabe 1997. Berlin: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 1997.
- [17] *Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RIZ-ING)*. Ausgabe 12/2012. Berlin: Bundesanstalt für Straßenwesen, 2012.
- [18] *ČSN 73 6221: Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Březen 2011. Hradec Králové: TECHNOR, 2011.
- [19] *ČSN 73 6200: Mosty - Terminologie a třídění*. -. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [20] *DIN Fachbericht 102 – Betonbrücken*. 1. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2009-03.
- [21] Schematischer Aufbau einer dreispurigen Straßenbrücke. In: *Wikipedia* [online]. Gemeinfrei, 2008 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://de.wikipedia.org/wiki/Br%C3%BCke>
- [22] *Bauwerksbuch: B 430 / B 77 (BW 2303)*. Version 1.91 - Druck vom 10.12.2015. Niederlassung Rendsburg, b.r.
- [23] *Brückenprüfung gemäß DIN 1076*. 2008-2013. Stadt Ratzeburg, 2010. Dostupné také z: https://www.ratzeburg.de/media/custom/1281_3918_1.PDF

- [24] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIRKLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. Brno, 2005. Skripta. Vysoké učení technické v Brně.
- [25] KRYŠTOF, Jan. *Základní diagnostický průzkum: most Jihlavská před Bíteškou*. Brno, 2009. Mostní vývoj s.r.o.
- [26] *ViaMichelin* [online]. France: MICHELIN, 2016 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.viamichelin.com/>
- [27] NECIK, . II/602. In: *Wikipedia* [online]. ČR: CC BY-SA 3.0, 2014 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Silnice_II/602#/media/File:II-602.png
- [28] 602 - 001 (Jihlavská přes Bíteškou). *Bridge Management System - BMS* [online]. Brno: Vars, 2001 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://bms.vars.cz/a_most.asp?ccjdb=&objectid=1001&nazev=Jihlavsk%E1%20p%F8es%20B%EDte%9Askou
- [29] MACIA11, . B430_Verlauf.svg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Bundesstra%C3%9Fe_430#/media/File:B430_Verlauf.svg
- [30] ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Pavel ROVNANÍK a Richard KŘÍSTEK. *Stavební chemie*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 8072044109.
- [31] *DIN EN 13412: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Druckversuch; Deutsche Fassung EN 13412:2006*. 2006-11. Berlin: Beuth Verlag, 2006.
- [32] DIEDERICH, Ulrich. *Untersuchungsbericht Nr. U 16 0645*. Wismar, 2016. Hochschule Wismar.
- [33] *DIN EN 196-1: Prüfverfahren für Zement - Teil 1: Bestimmung der Festigkeit*. 2005-05. Berlin: Beuth Verlag, 2005.
- [34] *DIN 13791: Bewertung der Druckfestigkeit von Beton in Bauwerken oder in Bauwerksteilen*. 2008-05. Berlin: Beuth Verlag, 2008.
- [35] *DIN EN 12390-6: Prüfung von Festbeton - Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern*. 2010-09. Berlin: Beuth Verlag, 2010.
- [36] MURÍNOVÁ, Tereza, Karel KUBEČKA a Pavel MEC. Možnosti využití termické analýzy v oblasti stavebních materiálů. *Stavební obzor*. ČVUT Praha, Fakulta stavební ČVUT v Praze společně s Fakultou stavební VUT v Brně, Fakultou stavební VŠB TU-Ostrava a ČKAIT, 2013, **022013**, 39-43. ISSN 1805-2576.

- [37] Brückenstatistik Stand 01-09-2016. In: BAST [online]. Berlín: Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), 2016 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.bast.de/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i>	<i>Mosty německé silniční a dálniční sítě</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 2</i>	<i>Odhad nárůstu nákladní dopravy v roce 2025</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3</i>	<i>Fotografie ilustrující nárůst dopravy od roku 1950 do současnosti</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 4</i>	<i>Most v Kettiger Hang (Wittfoht 1972)]</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 5</i>	<i>Srovnání příčných řezů mostu dříve a dnes</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 6</i>	<i>Koncepce předpisu „Nachrechnungsrichtlinie“ na statické přepočty mostů v SRN</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 7</i>	<i>Počet mostů na silnicích I. třídy a dálnicích v české republice podle data výstavby.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 8</i>	<i>Základní pojmy silničního betonového mostu dle DIN Fachbericht 102</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 9</i>	<i>Ukázka části mostního listu zpracovaného dle DIN 1076.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 10</i>	<i>Titulní strana protokolu o prohlídce dle požadavků DIN 1076</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 11</i>	<i>Vývoj hodnocení mostů od roku 2006 po rok 2015 (stav k 1. 3. 2015).....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 12</i>	<i>Celkový pohled na vyšetřovaný most (ev. číslo 602–001).....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 13</i>	<i>Výřez mapy znázorňující polohu mostního objektu (ev. číslo 602–001) v širším okolí</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 14</i>	<i>Mapa České republiky s vyznačenou komunikací II/602</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 15</i>	<i>Schematický příčný řez vyšetřovaného objektu.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 16</i>	<i>Schematický podélný řez vyšetřovaného objektu.....</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 17</i>	<i>Schématický výkres situace vyšetřovaného mostního objektu.</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 18</i>	<i>Na sloupy mezilehlé podpěry zatéká ze skrytého monolitického předpjatého nosníku</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 19</i>	<i>Pata sloupu podléhá zvětrávání.....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 20</i>	<i>Pata sloupu zvětrala a obnažila se její výztuž.....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 21</i>	<i>Opěra podléhá zvětrání místy až do hloubky 200 mm.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 22</i>	<i>Podhled nosníků je vystaven zmáčení.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 23</i>	<i>Světlejší nezmáčený povrch (v pozadí) je skrytý monolitický příčník.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 24</i>	<i>Silně korodovaný mostní odvodňovač.</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 25</i>	<i>Pohled na mostní objekt B430/B77 (ev. č. 1923603)</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 26</i>	<i>Výřez mapy znázorňující polohu mostního objektu (ev. číslo 1923603) v širším okolí.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 27</i>	<i>Znázornění komunikace B430 na mapě SRN.</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 28</i>	<i>Schématický podélný řez vyšetřovaného mostního objektu.</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 29</i>	<i>Příčný řez vyšetřované mostní konstrukce.</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 30</i>	<i>Výkres situace vyšetřované mostní konstrukce.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 31</i>	<i>Detailní pohled na příčník v severovýchodní části.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 32</i>	<i>Další případy drolení betonu způsobené korozi betonářské výztuže.....</i>	<i>42</i>

Obr. 33 Koroze zanechaného vázacího drátu v oblasti severního pilíře.....	43
Obr. 34 Mostní opěra v jihozápadní části byla opatřena ochranným nátěrem.....	43
Obr. 35 Ani jeden ze čtyř pilířů mostu nejeví znaky poškození.....	44
Obr. 36 Pohled na mostní svršek.....	44
Obr. 37 Zábradlí je opatřeno vlnitým plechem.....	45
Obr. 38 Celkově je konstrukce ve velmi dobrém stavu.	45
Obr. 39 Schéma míst odběrů z povrchu vozovky (jihozápadní pohled)	46
Obr. 40 Schéma míst odběrů z povrchu vozovky (severovýchodní pohled)	46
Obr. 41 Schéma odklonění jednoho z jízdních pruhů do středu vozovky.....	47
Obr. 42 Schéma odklonění jednoho z jízdních pruhů do středu vozovky.....	47
Obr. 43 Technik firmy Eichner Bau při extrakci vývrtu A1	47
Obr. 44 Otvor ve vozovce po vývrtu A1. Ve spodní části vrtu je vidět betonový povrch.	48
Obr. 45 Po extrakci vzorku A12 z jihozápadní části mostovky se oddělila krycí vrstva.	48
Obr. 46 Schéma míst odběrů z nosné konstrukce (jihozápadní pohled)	49
Obr. 47 Schéma míst odběrů z nosné konstrukce (severovýchodní pohled).....	49
Obr. 48 Extrakce vývrtu B1 ze spodní nosné konstrukce, přibližně 4 metry od jihozápadní opěry.	50
Obr. 49 Znázornění míst odběrů vzorků B1 – B3 z nosné konstrukce v jihozápadní části.	50
Obr. 50 Pohled na místa odběrů vzorků B3 – B6.....	51
Obr. 51 Extrakce vývrtu B8.....	51
Obr. 53 Znázornění míst odběrů vzorků B7 – B9 z nosné konstrukce v severovýchodní části.	52
Obr. 54 Místa odběrů vzorků B7 – B10.....	52
Obr. 55 Technik při vyplňování otvoru vzniklého vrtáním cementovou směsí.....	53
Obr. 56 Otvor po vývrtu B8 vyplněný cementovou směsí.	53
Obr. 57 Ukázka úpravy schémat vzorků z povrchu vozovky v měřítku 1:1 (vzorky B11 a B12)	54
Obr. 58 Znázornění konstrukčních vrstev vozovky (vývrt A6)	54
Obr. 59 Vrchní strana vývrtu A1 znečištěná prachem z dopravy.....	55
Obr. 60 Vrchní strana vývrtu A11. Krycí vrstva se částečně rozpadla při extrakci.	55
Obr. 61 Spodní strana vývrtu A1, vrstva lepidla odděluje ocelové těsnění od betonového povrchu.	55
Obr. 62 Spodní strana vývrtu A11.....	55
Obr. 63 Boční povrch vývrtu A1. Při extrakci nedošlo k oddělení jednotlivých vrstev.....	55
Obr. 64 Boční povrch vývrtu A11. Krycí vrstva se částečně rozpadla při extrakci.....	55
Obr. 65 Ukázka úpravy schémat vzorků včetně polohy a průměru zachycené výztuže.....	56
Obr. 66 Boční povrch vzorku B1 s viditelnou betonářskou výztuží zachycenou při vrtání.	57
Obr. 67 Čelní plocha vývrtu B1. Na povrchu jsou zřetelné stopy po bednění.	57
Obr. 68 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B1.....	57
Obr. 69 Boční plocha vývrtu B7. V řezu je zřetelně vidět distanční těleso pod konstrukční výztuží.	57
Obr. 70 Čelní plocha vývrtu B7.....	58
Obr. 71 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B7. Lom nastal v oblasti, kde probíhá výztuž.....	58
Obr. 72 Boční plocha vývrtu B9 s viditelnou betonářskou výztuží zachycenou při vrtání.....	58
Obr. 73 Čelní plocha vývrtu B9.....	58

Obr. 74 Lomová plocha vzniklá extrakcí vývrtu B9.....	58
Obr. 75 Míra koroze čerstvě řezaných ploch výztuže je velmi malá (jádrový vývrt B13).	59
Obr. 76 Krytí výztuže bylo zajištěno distančními tělesy, jak je patrné z vývrtu B10.....	59
Obr. 77 Modul pružnosti; znázornění závislosti napětí v N/mm^2 na deformaci v %.....	60
Obr. 78 Pevnost v tlaku; závislost zatížení v MPa na čase v sekundách, měřeno ve zkušebním lisu.....	62
Obr. 79 Čerstvě řezané plochy vzorku B2 po postřiku roztoku fenolftaleinu.....	63
Obr. 80 Čerstvá lomová plocha vzorku B6. Hloubka karbonatace je zde 2–4 mm.	63
Obr. 81 Vzorek B10 upravený do rozměrů 50x50x250 mm po provedení zkoušky.	64
Obr. 82 Lomová plocha vzorku B10 byla oslabena zrnem s nízkou pevností v tahu.....	64
Obr. 83 Pevnost v tahu ohybem; závislost napětí v N/mm^2 na deformaci v mm.....	65
Obr. 84 Lomová plocha vzniklá testováním vzorku B6 v příčném tahu.....	66
Obr. 85 Pevnost v příčném tahu; závislost na napětí v N/mm^2 a čase v sekundách.....	66
Obr. 86 Lomová plocha vzorku B2 vzniklá zkouškou v prostém tahu.	67
Obr. 87 Lomová plocha vzorku B11 vzniklá zkouškou v prostém tahu.....	68
Obr. 88 Pevnost v prostém tahu; závislost napětí v N/mm^2 na čase v sekundách.....	68
Obr. 89 Ukázka termogramu vzorku 3.....	70

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání nejdůležitějších pojmů dle betonových mostů dle DIN a ČSN.....	20
Tab. 2 Přehled četnosti kontrolních prohlídek dle ČSN 73 6221.....	25
Tab. 3 Rozsah hodnocení mostních konstrukcí podle RI-EBW-PRÜF].....	28
Tab. 4 Klasifikační stupně stavu mostů dle ČSN 73 6221.....	29
Tab. 5 Betonové krytí výztuže u jednotlivých vzorků jádrových vývrtů.....	59
Tab. 6 Hodnoty statických modulů pružnosti jednotlivých vzorků.....	61
Tab. 7 Pevnost v tlaku tělesa	61
Tab. 8 Přepočet na krychelnou pevnost v tlaku	62
Tab. 9 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku podle vztahů z přepočtové směrnice.....	62
Tab. 10 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku dle DIN 13791.....	63
Tab. 11 Přehled vzorků a jejich hloubky karbonatace.....	63
Tab. 12 Výsledná pevnost v tahu ohybem včetně uvedení způsobu porušení	64
Tab. 13 Hodnoty pevnosti vzorků v příčném tahu.	65
Tab. 14 Pevnost vzorků v prostém tahu včetně způsobu porušení.....	67
Tab. 15 Teplotní rozmezí úbytku hmotnosti betonu.....	69